

EFEITOS DIGITAIS DE ÁUDIO IMPLEMENTADOS NO MATLAB

Matheus Azevedo Moreira Neri – matheusazemneri@hotmail.com

Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec

Av. Orlando Gomes, Número 1845, Piatã

41650010 – Salvador – Bahia

Emanuel Benício de Almeida Cajueiro – emanuelbenicio@gmail.com

Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec

Av. Orlando Gomes, Número 1845, Piatã

41650010 – Salvador – Bahia

Resumo: Neste artigo é apresentado o desenvolvimento de um sintetizador computadorizado de áudio via MATLAB. Esta ferramenta tem por objetivo modificar o áudio captado, por meio de equação matemáticas, a fim de gerar efeitos sonoros similares aos produzidos pelos sintetizadores analógicos. Para a captação dos dados de áudio, foi utilizado um sensor ao qual foi acoplado a saída de áudio (guitarra, baixo, teclado ou celular, por exemplo). O resultado deste dispositivo é apresentado em tempo real ao usuário através do MATLAB.

Palavras-chave: Pedaleira Computadorizada. MATLAB. Efeitos digitais para guitarra.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas para aplicação de efeitos em áudio surgiram, primeiramente, em produções de estúdio. No início da década de 40 alguns músicos experimentais (Les Paul, por exemplo) começaram a manipular gravações com técnicas novas de gravação e microfonação, criando efeitos que até então seriam considerados como futuristas. Diante desta grande inovação os fabricantes de amplificadores perceberam uma oportunidade de lucro e começaram a incluir em seus produtos circuitos que produzissem efeitos como eco, vibrato, trêmulo e *reverb* [1].

Com a introdução destes efeitos, tanto os músicos quanto os fabricantes, viram-se obrigados a produzirem mais efeitos, de forma que seus produtos e músicas se tornassem únicos. Desta busca, surgiu um dos efeitos mais importantes na história do rock, a distorção. Inicialmente a distorção não era um efeito desejado, entretanto era frequentemente obtida com a exaustão das fontes de energia de amplificadores valvulados. Alguns guitarristas como Johnny Burnette aumentaram o ganho de seus amplificadores muito além de seus níveis utilizados até o momento, gerando um efeito caloroso e arranhado. Alguns musicistas chegaram a rasgar seus alto falantes para que esse som arranhado fosse gerado com mais facilidade.

Com o surgimento dos transistores, as válvulas foram parcialmente substituídas dando aos amplificadores menor tamanho e maior estabilidade. O primeiro efeito transistorizado foi o *Fuzz* (que lembra um pouco a distorção).

Atualmente, é difícil se ouvir uma música na qual nenhum efeito tenha sido aplicado, isto porque alguns timbres só conseguem ser atingidos ao utilizar-se efeitos. Circuitos analógicos

são únicos e suas modificações, muitas vezes, se tornam inviáveis. Tendo em vista a facilidade de modificação e de implementação de efeitos de áudio via MATLAB, é evidente que efeitos computadorizados, apesar de nem sempre atingirem o tom e timbre desejados, caso modelados de maneira correta, oferecem qualidade igual e maleabilidade maior quando comparados aos gerados por circuitos analógicos.

1.1 Transformada de Fourier

Uma das ferramentas mais importantes na análise de sinais, tanto de tempo contínuo quanto de tempo discreto, é, sem dúvida, a transformada de Fourier.

“Na compreensão de qualquer aspecto da transformada de Fourier, devemos lembrar que a representação de Fourier é uma forma de expressar um sinal em termos de senóides (ou exponenciais) de duração infinita. O espectro de Fourier de um sinal indica as amplitudes e fases relativas das senóides que são necessárias para sintetizar o sinal. (...)” (LATHI, 2007, p.605).

Para sinais periódicos o espectro da transformada de Fourier é discreto, possuindo amplitudes finitas e frequências múltiplas da frequência fundamental do sinal estudado.

A frequência fundamental de um sinal é aquela que está associada a maior energia. As outras componentes de frequência que aparecerão devido à transformada de Fourier são chamadas de harmônicos, ou seja, harmônicos são componentes de frequência do sinal estudado que aparecem em múltiplos inteiros da frequência fundamental.

Fenômenos físicos, tais como sinais de áudio, geralmente são sinais contínuos no tempo, ou seja, existem infinitos valores de amplitude associados a valores infinitos de tempo, o que demandaria uma memória infinita na qual seriam armazenados os dados do sinal. Ainda assim, computadores não conseguem trabalhar com sinais contínuos, então os sinais recebidos são amostrados a determinadas frequências e convertidos em sinais digitais discretos. Dito isso, fica evidente que o cálculo realizado será de um somatório discreto, e não um cálculo integral, desta maneira quando a transformada é realizada em um computador o cálculo realizado é o da própria série de Fourier, ou FFT (*Fast Fourier Transform*).

A transformada de Fourier em tempo discreto sofre algumas alterações que dependerão da frequência de amostragem.

Considerando a transformada de um sinal $x(t)$ como na figura 2:

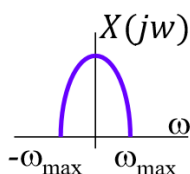


Figura 2: Transformada do sinal $x(t)$

Temos que a transformada da função $x(t)$ amostrada via trem de impulsos gera o espectro representado na figura 3, onde $\omega_m = \omega_{max}$:

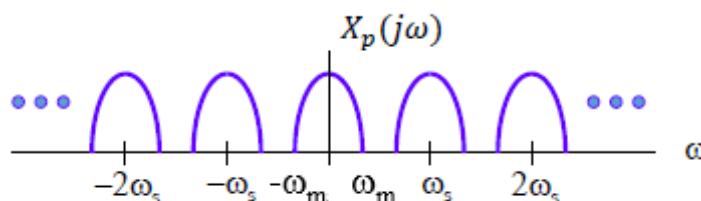


Figura 3: Transformada do sinal amostrado $x(nT)$.

A partir destas imagens é possível observar que o gráfico da transformada de Fourier se repetirá no espectro em múltiplos da frequência de amostragem. Para que o fenômeno de aliasing¹ não ocorra, devemos respeitar condição de que $\omega_s > \omega$, onde ω_s é a frequência de amostragem e ω é a maior frequência que se deseja ser captada do sinal. Esta condição ficou conhecida como teorema da amostragem de Nyquist-Shannon.

1.3 Efeitos de áudio:

Três efeitos serão tratados neste artigo: o *tremolo*, distorção e eco.

O *tremolo* é um efeito composto basicamente de alterações na amplitude (volume) na nota produzida. Sendo assim a frequência da nota não é alterada, entretanto, como seu volume é alterado a nota se torna mais audível ou menos audível durante o tempo. A **distorção** é um efeito que modifica as características principais do áudio, adulterando o som, tornando-o irreconhecível, no geral adiciona ruído e torna o som mais arranhado a depender do nível de distorção desejado. Diferente dos outros dois, o **eco** é um efeito de atraso. Fisicamente o eco é a repetição de um som que ocorre devido a reflexão da onda sonora ao atingir uma superfície, ou seja, o ouvinte recebe dois ou mais sinais de som, o original e réplicas do sinal original atrasadas.

2. METODOLOGIA

Para a aquisição dos dados de áudio em um computador, tornou-se necessário o uso de um conversor A/D. Utilizou-se um conversor comercial, denominado Guitar Link, o qual possui uma frequência de amostragem de até 48 KHz e 16 bits de quantização.

Feita a aquisição foi possível realizar as modificações desejadas no sinal captado. Pesquisou-se como realizar a modificação destes dados, sendo estudados métodos de modulação e atraso, diagramas de bloco, efeitos digitais de áudio, métodos de simulação no MATLAB via Simulink e modelagem de sistemas não-lineares. Vale a pena ressaltar que a saída de áudio da guitarra, será representada como um microfone nos diagramas de bloco.

2.1 Diagrama de blocos e modelagem dos efeitos

O *tremolo* é um efeito gerado via modulação. Para que o efeito de tremolo ocorra, o sinal de entrada deve ser multiplicado por uma função senoidal com frequência inferior à 20

¹ no qual ocorre um cruzamento entre o espectro original do sinal e de suas réplicas.

Hz. Essa modulação ocorrerá no domínio da frequência. A frequência escolhida para o sinal senoidal foi de 2 Hz [3].

Na figura 5 pode-se observar o diagrama de blocos do efeito tremolo.

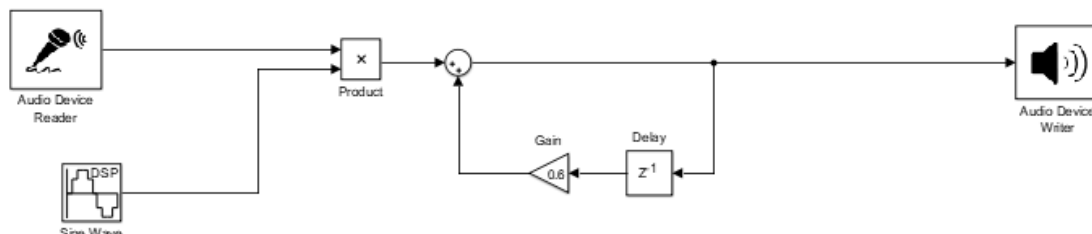


Figura 5: Diagrama de blocos dos efeitos tremolo.

Por vantagens como rapidez nos cálculos e facilidade de controle das operações, no lugar da modulação na frequência utiliza-se uma convolução no tempo.

Para o efeito de eco temos o diagrama de blocos que pode ser observado na figura 6.

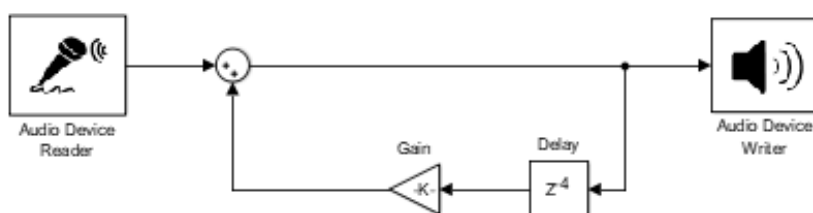


Figura 6: Diagrama de blocos do efeito eco.

Observa-se uma soma de componentes atrasadas do sinal, simulando a reflexão da onda ao atingir um objeto.

Sendo a **distorção** causada ao aumentar-se o ganho de amplificadores até saírem de suas "zonas" lineares, o efeito é não-linear, desta forma, necessitando de uma modelagem diferenciada. Neste artigo utiliza-se a equação desenvolvida por Michel Doidic, demonstrada na equação 1 a 4.

$$q = x \times \text{ganho} / \max(|x|) \quad (1)$$

$$z = \text{sign}(-q) \times (1 - e^{\text{sign}(-q) \times q}) \quad (2)$$

$$w = \left(\text{mix} \times z \times \frac{\max(|x|)}{\max(|z|)} \right) + 1 - \text{mix} \times x \quad (3)$$

$$y = w \times \max(|x|) / \max(|w|) \quad (4)$$

As quatro equações desenvolvidas por M. Doidic, fornecem um controle sobre a distorção (simulando o ganho de um amplificador ao atingir sua zona não linear) desejada e se o sinal de saída será apenas um sinal distorcido ou um mix de sinais compostos por sinais distorcidos e não distorcidos. As equações (1) e (2) controlam o nível de distorção enquanto a equação (3) e (4) controlam a mixagem do sinal com o sinal original com o ganho desejado. Na figura 7 é possível observar o diagrama de blocos do efeito distorção, onde as equações 1 a 4 são implementadas no bloco MATLAB Function e o ganho e mix são controlados por constantes geradas a parte.

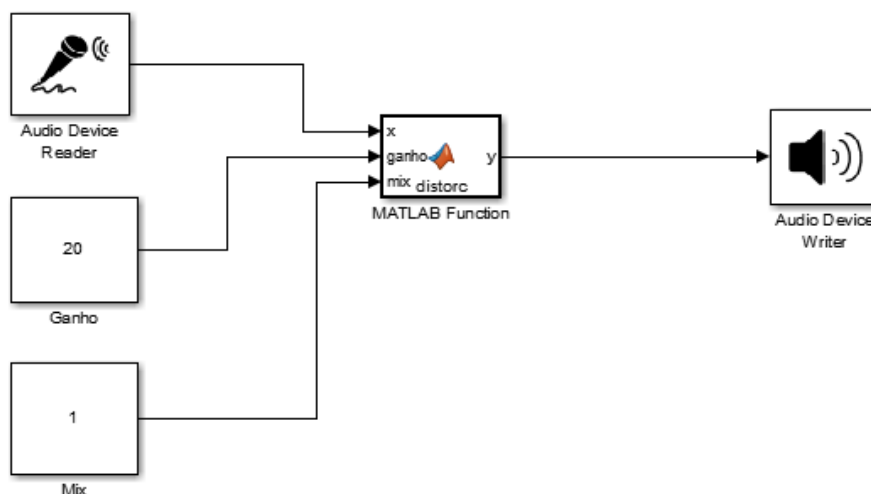
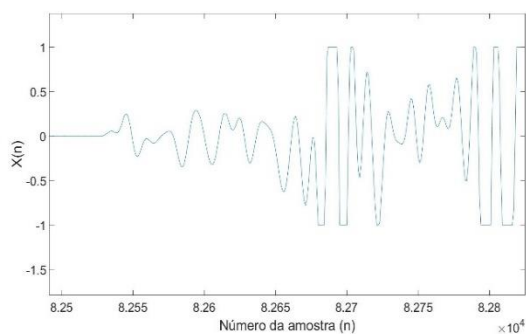


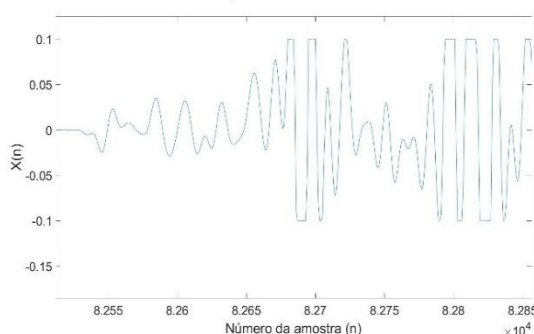
Figura 7: Diagrama de blocos do efeito distorção.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

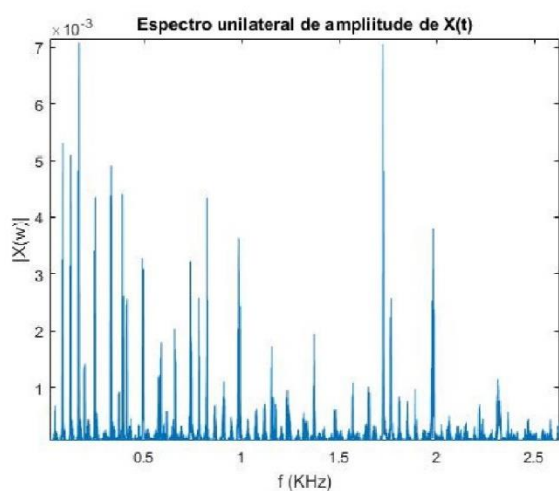
A figura 8 ilustra as mudanças ocorridas no sinal de áudio devido ao efeito do **tremolo**, no domínio do tempo, percebe-se uma leve mudança da amplitude do sinal com um envoltório próximo à uma senóide e no domínio da frequência percebe-se uma atenuação de determinadas frequências, isto ocorre devido à multiplicação dos espectros (devido à modulação na frequência) do sinal de áudio e da função senoidal, a segunda possui picos de magnitude em sua frequência fundamental e harmônicos possuindo um espaçamento grande entre estes, este que é encarado como próximo à zero, ao ser multiplicado pelo espectro do sinal de áudio atenua as frequências presentes na faixa de frequência do espaçamento. Notou-se que para uma maior percepção do **tremolo**, o ideal é que a frequência da fonte senoidal seja inferior à 10 Hz.



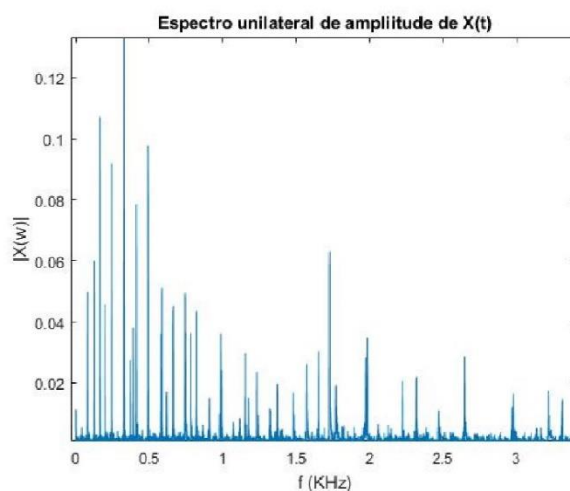
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 8: As imagens (a) e (b) indicam antes e pós efeito no domínio tempo e as figuras (c) e (d) indicam antes e pós efeito no domínio da frequência.

Para o efeito da distorção a análise do tempo é suficiente, percebe-se uma grande alteração no formato da onda, tanto em questões de frequência quanto em amplitude. O sinal antes do efeito tem um formato que em alguns pontos se aproxima de uma senóide enquanto o sinal depois do efeito é predominantemente triangular, o que causa aos ouvidos um som mais

arranhado.

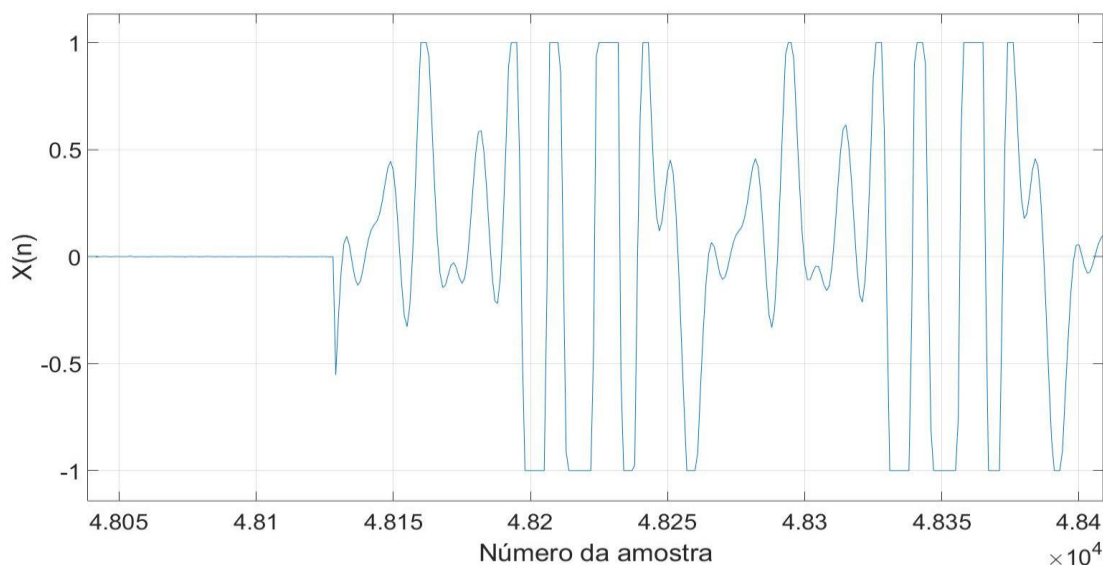


Figura 9: Gráfico do sinal antes de aplicado o efeito da distorção.

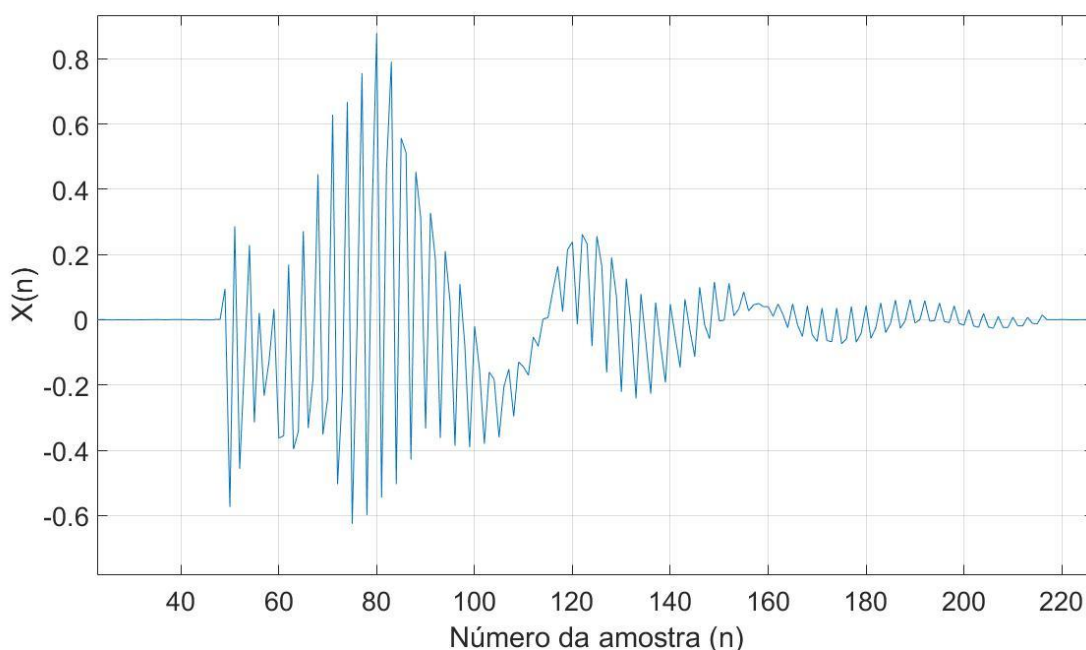


Figura 10: Gráfico do sinal depois de aplica o efeito da distorção.

O eco não modifica muito o formato do sinal e de seu espectro, causando pequenas modificações, devido a isso utiliza-se da correlação cruzada, que compara duas funções. A representação gráfica da correlação pode ser vista na figura 11.

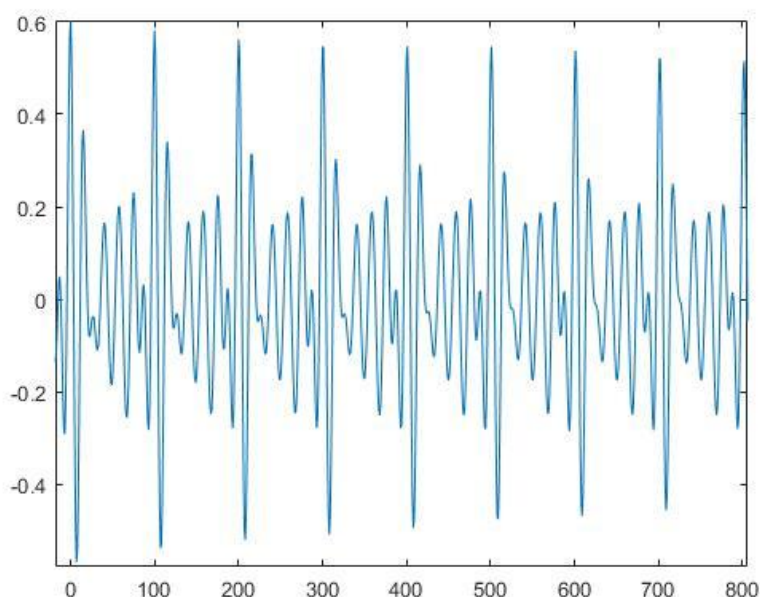


Figura 11: Gráfico da correlação cruzada entre o sinal de entrada e saída após o efeito eco.

O gráfico da correlação cruzada pode ser utilizado para avaliar a presença de um sinal dentro de outro e até quando esta presença persiste, analisando o gráfico conclui-se que o sinal pós-efeito do eco é muito próximo ao sinal original sem efeito. Isso já era esperado dado que o eco é uma repetição de um sinal atrasado.

4. CONCLUSÃO

Este documento apresentou os conhecimentos teóricos necessários para a elaboração sintetizador de áudio digital, dispositivo que possui a finalidade de alterar um sinal de áudio trazendo ao usuário efeitos como distorção, eco e tremolo.

Verifica-se a facilidade de implementação de efeitos digitais de áudio, lineares e não-lineares, no MATLAB. Para o segundo caso, o ruído inerente das fórmulas é substancialmente elevado, necessitando a implementação de filtros digitais. Valida-se a implementação de efeitos dependentes de modulação e atraso, com rendimentos muito satisfatórios.

REFERÊNCIAS

CHADABE, J. Electric Sound: The Past and Promise of Electronic Music. Prentice Hall, **1997**.

LATHI, B.P. Sinais e Sistemas Lineares, São Paulo: Bookman, **2007**.

ZOLZER, Udo. DAFX – Digital Audio Effects. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, **2002**.

OPPENHEIM, Alan; WILLSKY, Alan. Sinais e Sistemas. São Paulo: Pearson, **2010**.

YEH, D.T; ABEL, J. S; SMITH, J. O. SIMPLIFIED, PHYSICALLY-INFORMED MODELS OF DISTORTION AND OVERDRIVE GUITAR EFFECTS PEDALS. In: Proc. of the 10th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx-07), 1, **2007**, Bordeaux, Centre for Computer Research in Music and Acoustics (CCRMA) Stanford University, Stanford.

DOIDIC, M., RYLE, M. E SENFFNER, C. Tube modelling programmable digital guitar amplification system. U. S. Patent no 20040258250, agosto **1998**.

A. OLIVEIRA, Thomaz Chaves; BARRETO, Gilmar. Modelagem computacional de efeitos de distorções não lineares. Revista Brasileira de Computação Aplicada. Passo fundo, v.5, n.2, p69-84, out. **2013**.

DIGITAL AUDIO EFFECTS IMPLEMENTED VIA MATLAB

Abstract: *In this article we present the development of a computerized audio synthesizer via MATLAB. This tool has as its objective to modify the sampled audio, by means of mathematical equations, to generate sound effects like ones produced by analog synthesizers. The audio data sampling has been made by a sensor to which it was bound to an audio input (guitar, bass, keyboard or cellphone, for example). The result of this device is shown in real time to the user via MATLAB.*

Key-words: *Computerized stompboxes, MATLAB, Guitar digital sound effects.*