

Microfonia e Distorção na guitarra sob a ótica de *Waveshaping*

André Luiz Luvizotto
NICS – UNICAMP
e-mail: andre@nics.unicamp.br

Fábio Parra Furlanete
Departamento de Arte Visual – Centro de Educação Comunicação e Artes - UEL
e-mail: ffurlanete@nics.unicamp.br

Jônatas Manzolli
NICS – UNICAMP
e-mail: jonatas@nics.unicamp.br

Sumário:

A partir de discussão conceitual sobre do uso do ruído como material sonoro artístico, este artigo apresenta a implementação de um modelo computacional para distorção de sons de guitarra em tempo real. A implementação aqui reportada utiliza o método *Waveshaping* e a clipagem de sinal digital para o desenvolvimento de um patch na linguagem Pure-data (Pd). A metodologia baseou-se na análise de um equipamento de distorção analógico de guitarra denominado Tube Screamer. Esta serviu de moldura para construir o subseqüente modelo digital. Discute-se, na seção final do artigo, o desempenho do sistema frente a parâmetros computacionais e à sonoridade resultante.

Palavras-Chave: *waveshaping*, guitarra, distorção, *Pure-Data*, DSP, composição.

Introdução

A utilização de elementos que extrapolam a dimensão de um conjunto de regras pré-estabelecidas é um recurso constante no trabalho de criação musical, pois este processo se nutre da busca pela originalidade e a expansão de espaços conceituais. Este artigo constrói uma analogia entre estes elementos novos inseridos na estrutura musical com o conceito de ruído informacional e, por extensão, ruído proveniente do sinal acústico.

Este texto se inicia com uma seção que faz uma discussão conceitual sobre a inserção do ruído no contexto da criação musical. Segue uma breve apresentação dos conceitos fundamentais do método *waveshaping* criado por Risset (1969), o qual é o referencial teórico que prove o modelo para a implementação aqui estudada. Após essa seção, discute-se a análise e a implementação de um *patch* que opera em tempo real utilizando-se dos coeficientes dos polinômios de *Chebyshev* como parâmetros de controle de uma interface gráfica. Finalmente, faz-se uma breve discussão sobre os desafios encontrados durante a implementação e as projeções para etapas futuras da pesquisa.

Ruído & processo composicional

Beethoven, entre outros compositores, inseriu no escopo de sua obra elementos novos que, anteriormente excluídos da harmonia tradicional, passaram a serem utilizados como forma de inovação artística. Ainda, o uso da falsa relação de oitavas em Brahms e Beethoven como comenta (Schoenberg, 1920), assim como o uso de quartas, quintas e oitavas paralelas na obra de Debussy demonstram que a utilização do ruído como material, no sentido do elemento novo/estranho à regra, é uma prática que é reiterada no processo histórico de expansão dos horizontes da composição.

No contexto do século XX, no momento em que configurava-se a necessidade de expandir o vocabulário musical para além dos sons instrumentais tradicionais e, especialmente a partir do uso do circuito eletroacústico como suporte para o processo criativo, essa idéia da incorporação do ruído como material (i.e ruído informacional) passa a englobar também o ruído no sentido de sinal acústico.

Segundo Schaeffer (1966), a música eletroacústica se constrói a partir das características específicas do circuito eletroacústico, definido como captação, registro, manipulação e difusão do som. Ele apontou explicitamente para a incorporação do ruído e postulou, como uma das características mais marcantes deste circuito, a distorção aplicada ao sinal acústico. Na sua descrição da distorção da informação espacial gerada pelo microfone, que comprimi um evento complexo e tridimensional num movimento mecânico e unidimensional, enfatizou a reconstrução de espaços acústicos imaginários no processo eletroacústico. Stockhausen (1989) ressaltou que: "*O microfone não é mais uma ferramenta passiva para reproduções de alta fidelidade: ele se tornou um instrumento musical, que influencia no resultado da gravação.*" Em *Mikrophonie* (1964), ele usou o microfone como um instrumento musical e variações sonoras são obtidas através das distorções provenientes da proximidade do microfone de um Tam-Tam e do efeito de microfonia (realimentações através do sinal captado) que sintetiza a idéia composicional da obra. Através de notação apropriada, definiu um conjunto de regras pelas quais os elementos eletroacústicos interagiriam de modo a se configurar a estrutura da obra.

Ampliando ainda mais o escopo desta discussão, verifica-se que, recentemente, o ruído proveniente da distorção gerada por dispositivos à válvula tem sido muito apreciado no contexto da música pop. Mais especificamente no *Rock*, o ruído centrou-se basicamente em dois efeitos: a) distorção e b) microfonia, especialmente associados à sonoridade da guitarra. O caso (a) é de especial interesse para este artigo onde a distorção é gerada pela transformação de um sinal através de *waveshaping*.

O trabalho de Jimi Hendrix tornou-se divisor de águas, pois se voltou a um refinamento maior na utilização das características específicas do circuito eletroacústico. Ele gerava novas sonoridades a partir da: a) aproximação dos captadores da guitarra dos auto-falantes e b) saturação do sinal de amplificadores à válvula. Ou seja, estas duas técnicas seguem o modelo microfonia-distorção aqui apresentado. Ainda, a título de contextualização, verifica-se que em 1967 os *Beatles* lançaram o álbum *Sgt Pepper's Lonely Hearts Club's Bands* (cuja capa, curiosamente, contém uma foto de *Stockhausen*) e logo após, em 1968, Jimi Hendrix lança o álbum *Electric Ladyland*. Em todos essas gravações, que se tornaram referência de repertório, a distorção assume um papel imprescindível. Naquele momento histórico, o ruído acústico excluído do vocabulário pela música tradicional européia era reincorporado como material essencial do discurso musical.

Somando-se às contribuições musicais acima, Risset (1969) desenvolveu no *Bell Labs* o método de síntese de som denominado de *waveshaping* - um método de distorção não-linear de sinais musicais. Porém, apesar do espírito predominante na época, Risset explorou somente a simulação de instrumentos musicais, principalmente os metais e não aplicou seu método em instrumentos com a guitarra.

Com o objetivo de resgatar o potencial do método de *waveshaping* na geração e controle do ruído como material composicional, este trabalho se afasta do contexto de *mimesis*. Ou seja, a proposta da pesquisa aqui reportada é expandir a técnica inovadora de Risset no contexto do modelo microfonia-distorção, realizar uma re-leitura desta técnica, utilizando-se da implementação de um *patch* em Pd (*Pure-Data*).

Distorção & Waveshaping

O fenômeno de distorção de um sinal está relacionado ao enriquecimento do espectro de frequências, ou seja, quanto mais distorcido estiver o sinal, maior será o número de componentes espectrais.

O método de *waveshaping* consiste em passar um sinal sonoro através de uma função não-linear escolhida (Miller, 2006). Essa função é chamada de *waveshaper* que gera diferentes formas de ondas quando aplicada a uma amostra sonora (Dodge, 1985). Existem diversas funções que podem ser utilizadas como *waveshaper*. Dentre elas estão os polinômios de *Chebyshev*, propostos por Le Brun (1973), onde o polinômio de grau n gera o n -ésimo harmônico (figuras 1a, 1b, 1c).

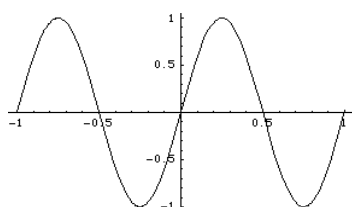


Figura 1a: Senóide em 100Hz

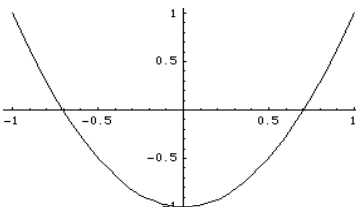


Figura 1b: Waveshaper

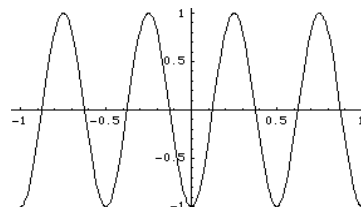


Figura 1c: Senóide em 200Hz

Distorção por clipagem

Um outro método largamente utilizado para gerar sons distorcidos é a *clipagem* de sinal. Tal método consiste em exceder a quantidade de energia suportada pelo sistema. Nos sistemas analógicos, tradicionais de amplificação de guitarra, a *clipagem* é obtida através da saturação do sinal no estágio de pré-amplificação, principalmente nos equipamentos que operavam com válvulas. Já no domínio digital, a clipagem consiste em retirar de um sinal parte de sua variação dinâmica (vide na figura 2.0 o procedimento aplicado para um sinal de variação entre -1 a 1 o qual é clipado em -0,5 e 0,5). Aplicando-se essa limitação na amplitude do sinal, criam-se pontos de descontinuidade na onda que são responsáveis pelo surgimento de novas parciais, enriquecendo seu espectro.

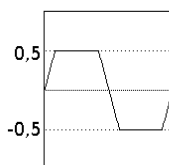


Figura 2: Senóide de 1KHz passando por processo de clipagem de amplitude, com valores entre -0,5 e 0,5.

Análise e experimentos

O *software Matlab* foi utilizado para avaliar o potencial sonoro dos polinômios de *Chebyshev* quando aplicados no processo de distorção de uma amostra sonora de guitarra. Os espectros obtidos foram ricos e com sonoridades muito variadas. Também foram avaliadas as características timbrísticas da paleta de sons distorcidos da guitarra. O objetivo foi cruzar as duas informações, pois conhecendo as características espectrais da paleta estudada, seria possível recriar os elementos de maior relevância com a manipulação dos polinômios, filtros e demais parâmetros do modelo.

Um *overdrive* da marca *Ibanez*, modelo *Tube Screamer* (Ts), foi usado como referência experimental. O interesse foi estudar as características timbrísticas deste dispositivo, pois o mesmo é freqüentemente utilizado como sonoridade de referência para o som da guitarra.

Tube Screamer

Dada a complexidade do comportamento espectral de um dispositivo de distorção, seria extremamente inviável detectar suas características, apenas utilizando-se de sons de guitarra. A natureza da sonoridade da guitarra já traz consigo um grau de complexidade que torna difícil a correlação entre distorção e conteúdo espectral. Portanto, foram tomadas como referência medidas vinculadas a um sinal senoidal. Este sinal é ideal, pois as parciais resultantes do mecanismo de distorção são derivadas somente de uma freqüência fundamental, o que simplificou a análise, pois se obteve, unicamente, o conteúdo espectral advindo da distorção. Vide figura 3.

A análise do espectro forneceu valores de amplitude e frequência das componentes espectrais de maior relevância, gerados pela distorção, possibilitando a construção da Tabela 1. Através desta tabela, verificou-se que a distorção Ts adicionou somente os harmônicos ímpares. Notou-se também, que os valores das amplitudes decaem de forma bem comportada, aproximando-se de uma exponencial quando analisado numa escala de decibéis.

| Parcial | Freq (Hz) | Amp. (dB) |
|---------|-----------|-----------|
| 1 | 440 | -7,4 |
| 3 | 1320,95 | -27,4 |
| 5 | 2202,81 | -36,3 |
| 7 | 3081,84 | -42,6 |
| 9 | 3957,02 | -47,0 |
| 11 | 4837,46 | -50,5 |
| 13 | 5718,55 | -53,5 |

Tabela 1: Relação dos harmônicos com suas respectivas amplitudes gerados pelo Ts.

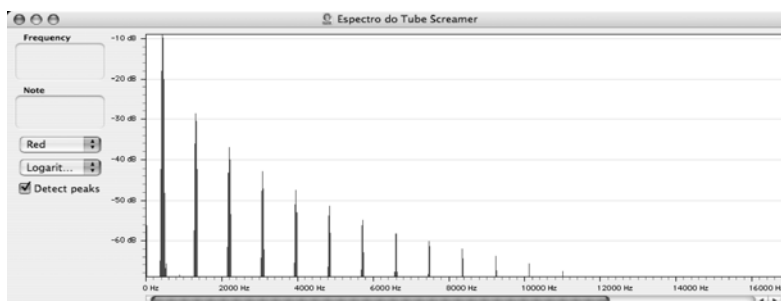


Figura 3: Análise do espectro da onda gerada pelo Ts. As análises dos espectros foram feitas utilizando-se o software Amadeus II.

Implementação em tempo real

Concluído o processo inicial de modelagem com o *Matlab*, buscou-se o desenvolvimento de uma interface gráfica (GUI) que possibilitasse a interação do músico com o sistema. Desta forma, iniciou-se o desenvolvimento de um *patch* em *Pure-Data* para ampliar o potencial do sistema com as características do processamento em tempo real.

Aliasing & Clipagem

Em áudio digital, o *aliasing* ocorre quando um sinal excede a faixa de frequência permitida pela taxa de amostragem utilizada (Teorema de Nyquist). Este efeito produz distorções indesejadas no espectro de frequências e deve ser evitado (Oppenheim, 1999).

Os conversores analógicos/digitais possuem bancos de filtros desenhados estritamente para evitar esse efeito. Porém, o método *waveshaping* gera múltiplos da frequência fundamental do sinal já amostrado a uma dada taxa. Isso significa que, após o processamento, podem ser geradas parciais que excedam a frequência de *Nyquist*.

O módulo de clipagem foi adotada para evitar o *aliasing* da seguinte forma: o *waveshaping* foi aplicado após a implementação de filtro passa-baixa com corte de 720Hz, apenas para distorcer as baixas frequências. A outra faixa do sinal foi distorcida através do módulo de clipagem. O valor de 720Hz foi escolhido de forma empírica, podendo ser alterado conforme especificação do usuário.

Pure-data

Consiste de um ambiente gráfico de rápido desenvolvimento para aplicativos musicais. Primeiramente concebido para performances, em tempo real, de música assistida por computador (Puckette, 2006), Pd foi desenvolvido por Miller Puckette e pode ser obtido gratuitamente em <http://puredata.info>.

O *patch* (figura 4) foi projetado da seguinte forma: o sinal enviado pelo conversor analógico/digital é filtrado em duas bandas, como exposto previamente. A banda das baixas frequências é endereçada ao módulo *waveshaping*, formado pela função *waveshaper* e composta pela combinação linear dos sete primeiros polinômios de *Chebyshev* de grau ímpar. O peso de cada polinômio na combinação linear é dado por controles deslizantes presentes na interface gráfica.

Já o sinal composto pelas altas frequências é endereçado ao módulo de clipagem, onde sua faixa dinâmica é reduzida por um fator de 10 e depois normalizada i.e. o sinal é achatado drasticamente nos pontos de máximo, desta forma são geradas as parciais que enriquecem o espectro. Após esse estágio, o sinal resultante passa por um filtro passa-faixas atuando como um controle de tonalidade, com a frequência de corte e a largura de banda a ser escolhida pelo usuário.

Por fim, os dois sinais são divididos por um fator 2, para que não haja clipagens adicionais não desejadas, adicionados e, então, enviados ao conversor digital/analógico.

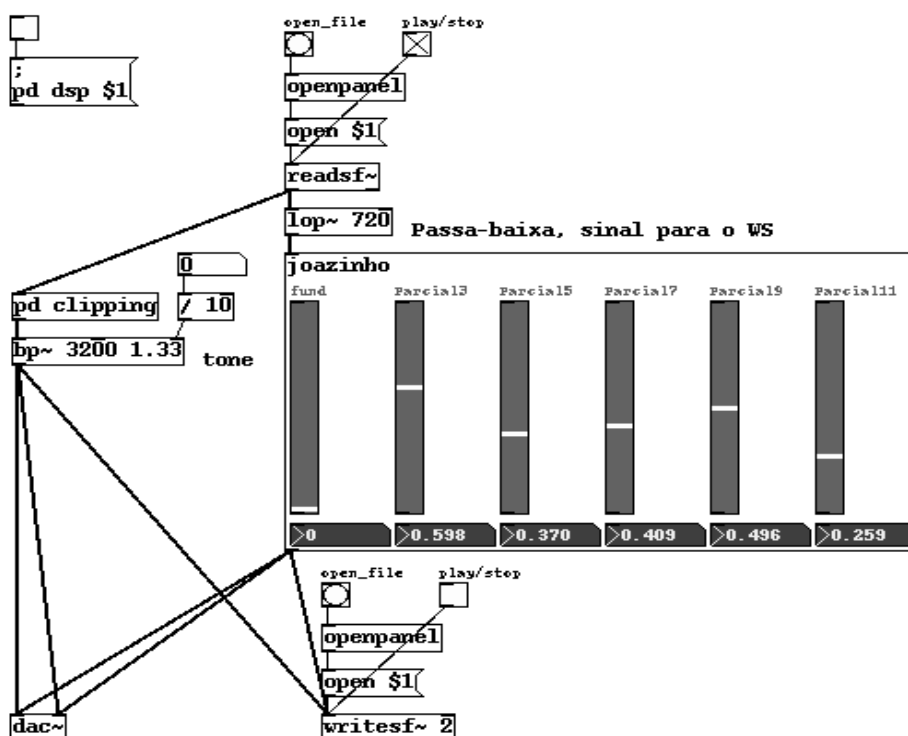


Figura 4: Patch implementado.

Discussão

Uma série de análises foram realizadas com diferentes coeficientes associados a cada componente espectral. Também foram aplicados parâmetros distintos no módulo de clipagem. Ao se comparar cada uma dessas versões, constatou-se que o método requer um baixo custo computacional, podendo ser utilizado em tempo real sem muita exigência de processamento por parte do computador.

Outra característica relevante é a não-linearidade do método, fundamental para os guitarristas, pois o espectro varia dinamicamente com a amplitude do sinal de entrada. Ou seja, existe uma resposta dinâmica do sistema com relação à expressão do músico, o que é extremamente rico do ponto de vista musical.

Os melhores resultados sonoros foram obtidos a partir da utilização do *patch* em conjunto com amplificadores de guitarra, tanto reais, quanto em simuladores digitais. No primeiro caso, o Pd foi utilizado em performance ao vivo como um módulo de distorção ligado em conjunto com demais efeitos e inserido num amplificador de guitarra. Essa configuração possibilitou a exploração de novos timbres, com características sintéticas nos graves, devido ao *waveshaping*.

Portanto, o sistema se adequou perfeitamente, tanto do ponto de vista timbrístico quanto do desempenho computacional às necessidades musicais no contexto do modelo microfonia-distorção que foi o motivador deste trabalho.

Conclusões e projeções

Os dois métodos aqui estudados são referências no contexto da síntese por distorção. O *waveshaping*, utilizado nas baixas frequências, foi construído através de uma função geradora de distorção por meio de polinômios orto-normais. Implementou-se também um módulo de clipagem com filtros para se esculpir o espectro da onda da forma desejada. Várias simulações foram feitas com o software *Matlab* até a implementação, em tempo real. Utilizando-se do ambiente Pd, uma interface foi implementada possibilitando a interação com o usuário e, desta forma, foi possível realizar análises mais abrangentes.

O método de síntese *waveshaping* mostrou-se altamente eficaz ao ser utilizado para geração de efeitos de distorção em guitarra, podendo ser ampliado para outros instrumentos e contextos musicais onde distorções são utilizadas como rock e música eletroacústica. Estas aplicações expandem a técnica inovadora de Risset na direção do modelo microfonia-distorção que enunciamos no início do artigo.

Atualmente, no contexto da música mista, existe uma demanda no sentido de prover mecanismos de integração entre o material composicional e fontes acústicas. Do ponto de vista deste artigo, o modelo microfonia-distorção aqui estudado tem grande potencial ao ser utilizado em obras que integram instrumentos e eletrônicos ao vivo. Neste sentido, o avanço que foi obtido, deu-se justamente na implementação em tempo real, que possibilitou a utilização do *patch* em performances com grupos de improvisação.

Agradecimentos

Este trabalho contou com o apoio de bolsa PIBIC/CNPq e projeto de produtividade em pesquisa número 308765/2003-6.

Referências Bibliográficas

- Dodge, C; Jerse, T. A. (1985). *Computer Music: Synthesis, Composition and Performance*. New York: Schirmer Books.
- Schaeffer, P. (1966). *Traité Des Objets Musicaux*. Paris: Éditions Du Seul, Nouvelle Éditions.
- Stochausen, K. (1989). *Stockhausen on Music*. New York: Marion Boyars Publishers, Lectures and Interviews Compiled by Robin Maconie.
- Le Brun, M. (1979). Digital Waveshaping Synthesis. *Journal of the Audio Engineering Society*. Volume 27.
- Risset, J. (1969). *An Introductory Catalogue of Computer-Synthesized Sounds*. Murray Hill, N.J.: Bell Telephone Labs.
- Oppenheim, A. V.; Schaffer, R. (1999). *Discrete-Time signal Processing*. New Jersey: Prentice-Hall, p. 144-145.
- Miller, P. (2006). Theory and Techniques of Electronic Music. <http://crca.ucsd.edu/~msp/techniques/v0.07/book.pdf> >. Acessado 31/05/2006.
- Schoenberg, A. (1920). *Tratado de Harmonia*. Madrid: Real Musical.