

Sistemas Dinâmicos Não-Lineares e Organicidade no Material Musical

Daniel Fils Puig

Colégio de Aplicação – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Rua J. J. Seabra, s/nº – 20000-000 – Rio de Janeiro – RJ – Brazil

daniel.puig@terra.com.br

***Abstract.** After presenting briefly some important aspects of non-linear dynamic systems studied as part of Chaos Theory, we discuss two concepts brought forth by Malt and Xenakis concerning their use in musical composition, as for the pursuit of a certain organicity in the musical material generated. As examples, applied to Computer Aided Composition, we present three Max/MSP patches, with four different applications.*

***Resumo.** Após apresentar sucintamente aspectos importantes dos sistemas dinâmicos não-lineares estudados pela Teoria do Caos, discutimos dois conceitos apresentados por Malt e Xenakis acerca da sua utilização na composição musical, tendo em vista a busca de uma certa organicidade no material musical gerado. Como exemplos, aplicados à Composição Assistida pelo Computador, apresentamos três patches construídos em Max/MSP, com quatro aplicações diferentes.*

A Teoria do Caos, como ressalta Wallin (1989), talvez tenha sido a primeira revolução científica disponível comercialmente e acompanhada passo a passo pelo grande público. Tendo sua divulgação tomado fôlego no início da década de 90, não demorou a exercer influência sobre o campo das artes. A partir das implementações para fins musicais de modelos matemáticos dela provenientes em diversos softwares de Composição Assistida pelo Computador (CAC), como *CSound*, *Max/MSP*, *PatchWork*, *OpenMusic*, *Pd*, entre outros, podemos facilmente inferir que a sua aplicação em Música não constitui uma novidade. O assunto já é conhecido dos pesquisadores da área e vários compositores a têm utilizado em seus trabalhos de criação.

Este artigo é um extrato de algumas questões levantadas em nossa dissertação de Mestrado em Composição junto ao Programa de Pós-Graduação em Música da Escola de Música da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGM/EM/UFRJ), concluído em fevereiro do corrente, sob a orientação do Prof. Dr. Rodrigo Cicchelli Velloso. Nela abordamos a aplicação de sistemas dinâmicos não-lineares provindos da Teoria do Caos na composição de forma geral e na CAC especificamente.¹ Aqui, pretendemos mostrar algumas das aplicações desenvolvidas em Max/MSP durante esse curso e que vão de encontro à nossa busca por uma certa "organicidade" no material musical.

Sistemas Dinâmicos Não-Lineares e a Teoria do Caos

Sistemas dinâmicos não-lineares são sistemas cujas grandezas que os descrevem evoluem no tempo de forma não-periódica, irregular, aleatória e, portanto, imprevisível. Os modelos matemáticos que procuram representar seu comportamento apresentam características que têm renovadamente surpreendido os pesquisadores ao longo das últimas décadas.

O fato, por exemplo, de que modelos matemáticos simples são capazes de gerar comportamentos extremamente complexos, atirou por terra a concepção tradicional de que

¹ Puig (2005).

efeitos complexos têm necessariamente causas complexas. Isso se dá devido à característica de dependência hipersensível das condições iniciais, conhecida como o "Efeito Borboleta"². Tal dependência gera resultados qualitativamente muito diversos para um mesmo sistema, dada uma minúscula variação em suas condições iniciais. Outras características intrigantes desses modelos são a presença de "janelas de ordem" em meio ao caos (trechos em que os resultados parecem seguir uma sequência ordenada, para depois caírem novamente numa forma não-periódica), a possível ocorrência de uma persistente auto-semelhança em escalas (ligada à já bastante estudada geometria fractal) e a da universalidade de sua aplicação (ou seja, a possibilidade de descrever um comportamento caótico em dinâmica de fluidos, circuitos elétricos ou em biologia, a partir do mesmo sistema de equações não-lineares).

Não podemos perder de vista, porém, o fato de que esses modelos matemáticos são deterministas, ou seja, dadas *exatamente* as mesmas condições iniciais, eles irão reproduzir fielmente os mesmos resultados, o que não constitui um caos *stricto sensu*, onde a imprevisibilidade é total. Por esse motivo a Teoria do Caos também é chamada de o estudo do caos determinístico.

Organicidade com o Caos

Em primeiro lugar, o que mais nos interessa no uso de aspectos advindos da Teoria do Caos na composição musical, é a busca de uma qualidade quase que "orgânica" no material musical, de construções musicais que se aproximem da forma com que o homem vê o universo hoje: cheio de detalhes, mas ao mesmo tempo uno; possuidor de eventos caóticos, que tanto provém da ordem quanto podem gerá-la; com elementos auto-semelhantes, mas nunca iguais. Dois conceitos, extraídos de Malt e Xenakis, têm sido de grande valia nessa busca.

Malt (2000, 4.4 Conclusions, p. 1) refere-se à necessidade de evitar "conferir aos modelos e aos símbolos um privilégio em relação ao processo que eles representam", esclarecendo que "uma lógica formal não implica forçosamente em uma lógica musical", ou seja, "um modelo matemático não pode ser utilizado na composição musical se não for sustentado por uma conceitualização e um pensamento musicais". Tal afirmativa é fundamental para uma utilização consciente na composição. O pensamento e a conceitualização musicais devem ter ascendência sobre a utilização do modelo, que serve, então, de apoio àqueles.

Já Xenakis (1992), no capítulo X do seu livro "Formalized Music", expõe a idéia de que o universo se perpetua por seus eventos serem ao mesmo tempo singulares e semelhantes. A semelhança leva ao reconhecimento de regras e estruturas, assegurando a permanência, e a singularidade ao desaparecimento, à morte. Assim o universo se perpetua, ou seja, mantém a vida. Desta forma, Xenakis deixa claro o que parece ser um dos motivos primordiais para a aplicação de processos randômicos, sistemas estocásticos ou o caos determinístico na composição musical: fazer com que a música produzida acerque-se mais da visão que o homem tem hoje da natureza, de suas formas e ritmos, da maneira com que ela funciona, onde as coisas são "mais ou menos" iguais.

Para nós, essa qualidade de "auto-similaridade desviante"³ — se assim podemos nos expressar — onde as coisas são "mais ou menos" iguais, leva, portanto, a uma maior organicidade, refletindo um processo que a própria vida nos coloca frente aos olhos. Orgânico é tudo aquilo que é relativo a, ou próprio de organismos. Nesse sentido, os

² Esta denominação vem do título de uma palestra proferida por um dos pioneiros da Teoria do Caos, o meteorologista Edward Lorenz, em 1972, na American Association for the Advancement of Science: "Previsibilidade: Pode o bater das asas de uma borboleta no Brasil provocar um tornado no Texas?".

³ Cunhamos essa expressão unicamente para diferenciar essa qualidade de auto-similaridade daquela dos fractais, cuja característica marcante é apresentar-se estritamente igual.

sistemas dinâmicos não-lineares são capazes de ajudar a gerar e transformar material musical que se aproxime dessa organicidade, por terem a auto-similaridade como característica básica dentro de um comportamento caótico, o qual por sua vez provoca singularidades. Tanto Wallin (1989)⁴, quanto Slater (1998), apontam ainda para o fato de que o acoplamento de dois ou mais sistemas dinâmicos não-lineares resulta em uma maior auto-similaridade desviante (embora não se utilizem desta expressão). Apesar deste não ter sido o foco de nossa pesquisa no Mestrado, encontramos poucos autores que se referissem a essa utilização como uma forma de aumentá-la. Acreditamos que essa questão mereça maior atenção e estudos pormenorizados e é com esse intuito que apresentamos os resultados práticos obtidos com os *patches* descritos abaixo.

Exemplos em CAC

Os três *patches* aqui apresentados (*mar.pat*, *pri.pat* e *circpan-caospan.pat*) foram construídos para serem difundidos através de um sistema quadrafônico, cujos alto-falantes estejam colocados na posição das arestas de um quadrado no espaço de difusão.

"mar"

Utilizado em nossa composição "Revoada"⁵, este *patch* (*mar.pat*) implementa uma modificação na velocidade de reprodução de um pequeno trecho gravado (21 segundos) do som de ondas do mar, a partir dos resultados numéricos do sistema de equações não-lineares de Hénon-Heiles⁶. O arquivo original é acessado a partir de um *buffer~* por dois objetos *groove~* diferentes. Cada um destes últimos reproduz o som do mar variando sua velocidade de acordo com o fluxo dos resultados de uma das variáveis escalonadas (x e y' escalonados entre 0,1 e 2,5; onde 1,0 corresponde à velocidade original). Desta forma obtemos duas reproduções diferentes do mesmo arquivo de som. Estas são difundidas, por sua vez, em alto-falantes diametralmente opostos no espaço de difusão.

⁴ Em nossa dissertação de Mestrado fizemos, com o auxílio de um *patch* em Max/MSP, a comparação entre os resultados musicais obtidos pelo mapeamento direto para alturas dos resultados da Equação Logística e de três sistemas não-lineares simetricamente acoplados, ao qual Wallin se refere em seu artigo. Ver Puig (2005), Capítulo 3: "Mexendo no Caos".

⁵ As partituras e os *patches* de "Revoada" e "inconfidências" podem ser encontradas como anexos de nossa dissertação de Mestrado. Ver Puig (2005).

⁶ Esse modelo caótico descreve o movimento de uma estrela no potencial gravitacional de uma galáxia e seus resultados numéricos são apresentados em quatro dimensões (x , y , x' e y'). Cada conjunto de resultados refere-se a uma iteração do cálculo do sistema e à condição do sistema decorrido um pequeno intervalo de tempo. A implementação dele para Max/MSP 4.x através do objeto *a-henon-heilles* foi feita por André Sier como parte do conjunto de objetos "A-Chaos Lib 1.0", baseado nos trabalhos de Richard Dudas, Mikhail Malt e Paul Bourke.

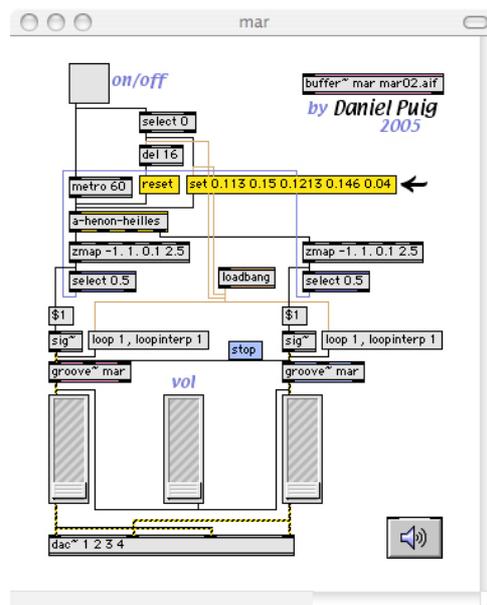


Figura 1. O patch mar.pat em Max/MSP. O conjunto de condições iniciais encontra-se destacado por uma seta.

O resultado auditivo é intrigante, uma vez que se sabe que se trata apenas de uma gravação de 21 segundos, pois a reprodução é constantemente variada e não se repete. Isto se dá devido ao conjunto de valores dados como condição inicial do sistema (ver Figura 1), que provoca um comportamento caótico, resultando em uma seqüência de valores não-periódica para o par (x, y') .

A organicidade do material musical assim obtido fica clara na emulação bastante próxima de um ambiente sonoro natural. Embora esta não seja perfeita, tem a capacidade de passar ao ouvinte tal impressão. Na nossa experiência, ouvintes atentos são capazes de perceber que há uma repetição, mas não sabem precisar onde ou se esta não é decorrente do próprio comportamento da fonte sonora original.

"pri"

No segundo exemplo (*pri.pat*) o mesmo sistema de equações não-lineares de Hénon-Heiles é utilizado para perturbar quatro osciladores em relação à sua frequência central e sua amplitude. Estes osciladores estão combinados dois a dois, possuindo cada par os mesmos valores de frequência (960Hz e 925Hz; ver Figura 2, no objeto *cycle~*). São utilizados dois sistemas de Hénon-Heiles submetidos a condições iniciais bastante próximas (diferindo apenas em um valor, na ordem da quarta casa decimal; ver Figura 2, em destaque), cujas trajetórias vão divergindo aos poucos, diferenciando-se em movimento. Subitamente parecem sincronizar-se novamente, para logo seguirem trajetórias diversas. Nasce a impressão auditiva do canto de insetos à noite.

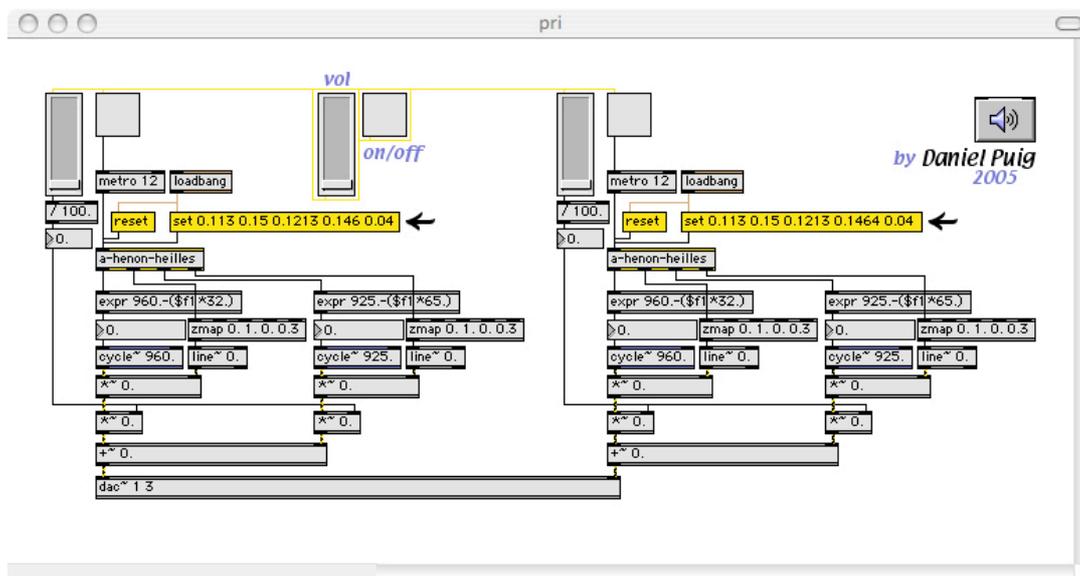


Figura 2. O patch *pri.pat* em Max/MSP. Note-se a pequena diferença entre os dois conjuntos de condições iniciais dadas (destacados por setas).

Esta aplicação foi inspirada na referência que o Prof. Dr. Rodolfo Caesar fez em um dos cursos durante o Mestrado, ao fato de que insetos noturnos poderiam produzir suas "vozes" a partir de uma síntese que utilizasse osciladores de baixa frequência, os chamados LFOs. Daí a imaginar essa síntese a partir da oscilação vagarosa dos valores produzidos por um sistema de equações não-lineares como o de Hénon-Heiles, cujo gráfico apresenta uma curva contínua e ondulada (ver Figura 3), não custou muito.

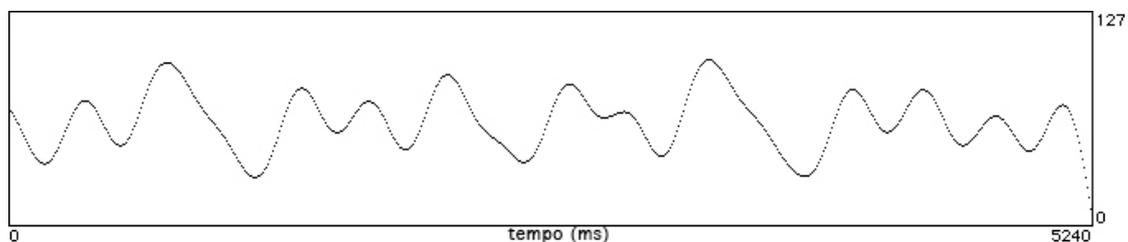


Figura 3. Representação gráfica dos valores obtidos (escalonados para valores entre 0 e 127) para uma das variáveis do sistema de equações não-lineares de Hénon-Heiles, submetido a condições iniciais quaisquer, como exemplo do seu comportamento ondulado e contínuo.

Não foi nosso intuito aqui emular exatamente uma paisagem sonora natural (embora acreditemos que isso seja possível a partir deste mesmo princípio), mas apenas causar a impressão dela através do uso da auto-similaridade desviante, remetendo o ouvinte a essa lembrança. Tal gesto musical é utilizado para esse fim no início de nossa composição "inconfidências".

"circpan" e "caospan"

Os algoritmos de espacialização apresentados neste exemplo fazem parte de nossa composição "Revoada". "circpan" foi uma criação nossa e "caospan" foi idealizado e criado em conjunto com o Prof. Dr. Rodrigo Cicchelli Velloso.

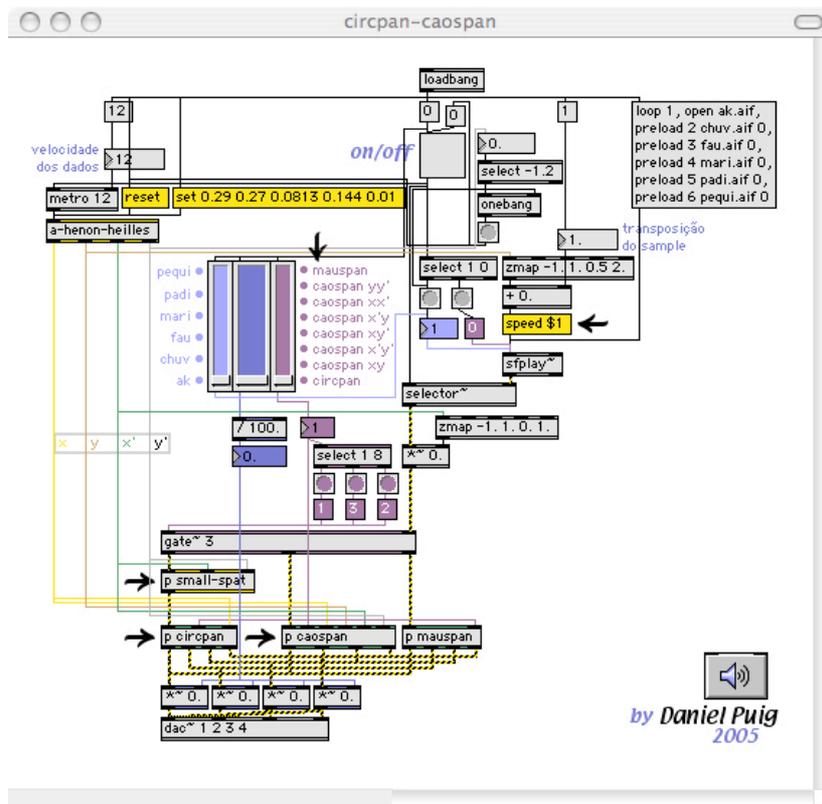


Figura 4. O patch *circpan-caospan.pat* em Max/MSP. Em destaque, indicados por setas, o comando "speed", a lista de possibilidades para a espacialização e os subpatches referentes aos algoritmos de espacialização.

"Revoada" surgiu a partir da observação de revoadas de pombos, onde todo o grupo de aves mantém simultaneamente trajetórias parecidas, mas não iguais. A utilização do sistema de Hénon-Heiles para emular esse movimento é um exemplo curioso da universalidade como característica de modelos matemáticos de sistemas não-lineares, pois os gráficos produzidos por esse modelo específico, e observados por nós pela primeira vez no software *PatchWork*, retornavam curvas que poderiam ser usadas para descrever essas trajetórias da revoada das aves em um espaço tridimensional, chegando a reproduzir detalhes, para certos conjuntos de condições iniciais, como o pequeno movimento ascendente característico antes do pouso (ver Figura 5).

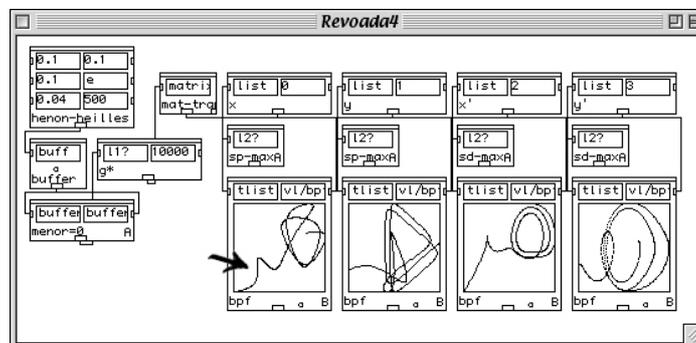


Figura 5. Patch construído no software *PatchWork* mostrando os gráficos no espaço de fases para as variáveis do sistema de Hénon-Heiles combinadas duas a duas $((x,y), (x,y'), (x',y) \text{ e } (x',y'))$. Note-se o

destaque feito com a seta para o movimento ascendente antes do "pouso".

A idéia por trás de "cirspan" é a de fazer com que o som execute esse "vôo" ao redor do público. Já em "caospan" o som percorre uma trajetória caótica dentro do espaço de difusão. Para isso utilizamos-nos da reprodução ininterrupta de um pequeno arquivo de som (um *sample* em *loop*), cuja altura sofre uma transposição contínua (glissando) segundo os valores escalonados da variável *y*. Isto é feito através da variação da velocidade de reprodução do *sample* por meio do comando *speed* enviado ao objeto *sfplay~* (ver Figura 4). A essa síntese são aplicados três algoritmos de espacialização controlados pelos valores resultantes do sistema de Hénon-Heiles.

O primeiro algoritmo de espacialização encontra-se encapsulado no *subpatch* "small-spat" (pequeno espacializador) e seu resultado é utilizado apenas por "cirspan". Ele submete a reprodução contínua do *sample* a um pequeno atraso (*delay*) com realimentação (*feedback*), controlado pela variável *x'*, para emular uma maior ou menor distância do centro do espaço de difusão, através do efeito de reverberação gerado, e a uma filtragem das suas componentes espectrais agudas, para dar a idéia auditiva de maior ou menor distância do solo (movimento vertical). Para a filtragem, são utilizados os valores da variável *y'*, que controlam a frequência de corte de um filtro passa-baixas (*lpass~*): quanto menor o valor de *y'*, mais aguda a frequência de corte, portanto, maior o número de componentes espectrais e maior a impressão de que o som se encontra próximo ao solo; quanto maior o valor de *y'*, mais grave a frequência de corte e provoca-se a sensação contrária. É bom ressaltar que este procedimento não tem por finalidade posicionar de forma acurada o som no espaço de difusão, apenas dar uma impressão um tanto quanto vaga desse movimento, o que está relacionado à poética dessa composição.

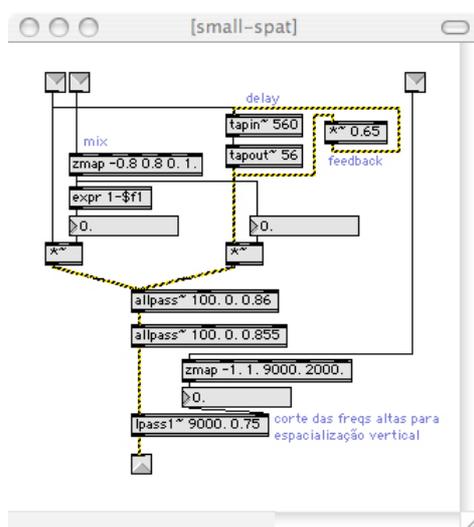


Figura 6. Subpatch do small-spat.

O resultado dessa síntese é submetido a "cirspan", onde a variável *x* fornece o tempo de duração de uma revolução do som ao redor do público, numa espacialização circular no sistema de difusão quadrafônica. Ao término de cada revolução, novo valor é tomado do fluxo de resultados, gerando nova revolução com duração distinta da anterior. Combinados, estes dois algoritmos criam uma trajetória espacial cujos movimentos são sempre similares, mas nunca idênticos. Ao se mudar as condições iniciais do sistema de Hénon-Heiles, novas trajetórias surgem. A associação de três ou mais destes gestos sonoros — através, por exemplo da replicação do mecanismo do *patch* várias vezes em um novo *patch* (o que fizemos em "Revoada") — submetidos a condições iniciais diferentes faz com que o ouvinte ouça essas trajetórias se ramificando pelo espaço de difusão: uma revoada de sons.

O princípio por trás de "caospan" é o de combinar diferentes variáveis do sistema de Hénon-Heiles duas a duas, a fim de gerar trajetórias a serem percorridas pelo som no plano horizontal formado pelo sistema quadrafônico de difusão. Ou seja, o som do *sample* em glissandos irá deslocar-se de acordo com a curva formada pelos pares ordenados de duas das variáveis do sistema, dentro do quadrado formado pelos alto-falantes. O *patch* que construímos possibilita a escolha da combinação de variáveis a ser utilizada através de uma lista de possibilidades para a espacialização (ver Figura 4).

As divergências e convergências das trajetórias nestes algoritmos são ricas em auto-similaridade desviante, provocando um contraponto espacial de grande riqueza formal e variedade.

Conclusão

É possível, tanto teoricamente, quanto pelos exemplos práticos aqui apresentados, concluir que o uso de sistemas dinâmicos não-lineares na composição musical pode ajudar a gerar material musical possuidor de uma auto-similaridade desviante, onde suas componentes apresentem-se "mais ou menos" iguais e que, portanto, possua algo da qualidade de organicidade que buscamos.

Esta conclusão pode ainda ser enriquecida por uma melhor definição do que seja organicidade, bem como estudos mais aprofundados de como ela se manifesta no discurso musical e para o ouvinte.

Referências

- Malt, Mikhail. (2000) "Les Mathématiques et la Composition Assistée par Ordinateur (Concepts, Outils et Modèles)", Tese (Doutorado em Música e Musicologia) - Ecole Des Hautes Etudes En Sciences Sociales, Paris.
- Puig, Daniel F., (2005) "Música e Sistemas Dinâmicos Não-Lineares: uma abordagem composicional" Dissertação (Mestrado em Música) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Escola de Música - PPGM, 2005.
- Slater, Dan. "Chaotic Sound Synthesis", In: Computer Music Journal. Massachusetts: MIT, Summer, 1998.
- Wallin, Rolf. (1989) "Fractal Music - Red Herring or Promised Land?", Palestra proferida no Nordic Symposium for Computer Assisted Composition, Estocolmo, 1989. Disponível em: <http://www.notam02.no/~rolfwa/Fractalarticle.html> Acesso em: 14 de maio de 2002.
- Xenakis, Iannis. (1992) "Formalized Music. Thought and Mathematics in Music", Nova Iorque: Pendragon.