

Análise de Áudio, Memória e Recuperação de Informação Musical em um Ambiente Computacional voltado à Improvisação Musical

Adriano Monteiro¹, Jonatas Manzolli¹

¹Instituto de Artes - Departamento de Música / Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora (NICS) — Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Campinas — SP — Brasil
monteiro.adc@gmail.com, jotamanzo@hotmail.com

***Abstract:** This article presents techniques for musical information retrieval in the context of an interactive work for musical improvisation. We present a method for musical analyses based on spectral features extraction by the 'spectral flux' audio descriptor and subsequent spectral data analysis in Poincaré maps. Finally, we show its application as a musical information retrieval system in an interactive composition algorithm for musical improvisation.*

***Resumo:** Este artigo apresenta técnicas computacionais para recuperação de informação musical contextualizadas em uma obra musical interativa para improvisação. Expomos o método de análise musical baseado na extração de características espectrais através do descritor de áudio 'fluxo espectral' e posterior análise dos dados via mapas de recorrência ou de Poincaré. Por fim, mostramos sua aplicação como sistema de recuperação de informação musical no contexto de improvisação musical em uma composição interativa.*

1. Introdução

Os métodos recentes de análise musical com auxílio do computador potencializam a obtenção de informação musical a partir do espectro sonoro. Nos últimos anos a pesquisa de modelos computacionais para análise, composição, processamento e interação em tempo real tem focado a “recuperação de informação musical” (MIR)¹. A pesquisa aqui reportada apresenta um método de análise que associa os Descritores de Áudio [Puckette e Apel 1998; Malt e Jourdan 2009; Pereira 2009] aos Mapas de Poincaré [Poincaré 1923; Acharya 2006; Camurri 2010]. Estes mapas, estudados na literatura matemática de Sistemas Dinâmicos [Birkoff, 1927], descrevem comportamentos temporais complexos a partir da análise de recorrência de padrões no tempo.

A natureza simbólica e processual de ambientes computacionais permite que, quando aplicados como instrumentos para performance musical, a arquitetura dos instrumentos digitais englobe estruturas musicais e composicionais. Essa propriedade, que caracteriza a fusão entre instrumento e composição algorítmica que denominamos de *lutheria digital* é descrita em [Schnell e Battier 2002] pela expressão *instrumentos compostos*.

Observando sistemas computacionais interativos que são concebidos como criações musicais, Chadabe (1997) cunhou o termo “*composição interativa*” para

¹ MIR - Music Information Retrieval

descrever sistemas em que a composição musical se realiza no processo de interação entre o performer e o sistema computacional. O performer altera o comportamento do sistema pela ação sobre parâmetros e o sistema altera o comportamento do performer através de estímulos perceptivos, como resposta sonora ou visual.

Magnusson (2010) observa que o núcleo estrutural dos instrumentos digitais está em sua representação simbólica, ou seja, no algoritmo responsável pela geração de som e mapeamento dos dados de controle das interfaces. Observa também que o virtuosismo relacionado à performance com estes instrumentos está na capacidade do músico-instrumentista em lidar com os dados gerados pelo instrumento e no entendimento de suas propriedades algorítmicas e limites expressivos.

Em linha com os estudos sobre instrumentos digitais e composições interativas, neste artigo apresentamos uma metodologia de análise para recuperação de informação musical aplicada no contexto de uma composição interativa voltada à improvisação com contrabaixo elétrico e ambiente computacional. Nosso objetivo é adicionar ao processo algorítmico da composição um sistema que auxilie e potencialize a capacidade do instrumentista computacional de recuperar as informações da performance durante a execução da obra. Para isso desenvolvemos um método que relaciona a aplicação de algoritmos descritores de áudio aos mapas de Poincaré. Outras aplicações para extração de informação musical podem ser derivadas deste método. Por exemplo, em (Monteiro & Manzolli 2011) exploramos essa metodologia para análise da complexidade de características espectrais de obras musicais texturais traçando relações comparativas entre casos analisados.

Neste artigo primeiramente descrevemos a arquitetura de “As duas Criaturas que Estavam à Mesa de Chá não Tiveram esta Conversa (versão 1)”² uma obra musical para computador e contrabaixo elétrico composta por Adriano Monteiro e Lucas Araújo. Em seguida descrevemos a metodologia de análise que relaciona a aplicação de algoritmos descritores de áudio aos mapas de Poincaré. Finalmente, mostramos como o processo de análise foi implementado numa segunda versão da obra com a finalidade de recuperar a informação musical da performance.

2. Arquitetura do Algoritmo Musical

A obra “As Duas Criaturas que Estavam à Mesa de Chá Não Tiveram esta Conversa (versão 1)”, foi concebida como um ambiente computacional modular que estabelece um campo sonoro para livre improvisação das sonoridades geradas pelo computador e para processamento sobre o sinal sonoro do baixo elétrico. Este ambiente algorítmico-musical foi estruturado em quatro *móviles sonoros*, nome que designamos às estruturas algorítmicas modulares, inspiradas nas artes visuais, que geram padrões sonoros recorrentes sob a ação de intérpretes. Nestes móveis a matéria sonora é vista como a interpretação de potencialidades propiciadas por processos algorítmicos que foram desenvolvidos antes da performance. Este tipo de exploração tem duas características: a) processo algorítmico de geração sonora e b) interatividade entre *performers* e *software*. Através da escuta dos dois instrumentistas os móveis sonoros são recombinados pelo

² Principal Apresentação em 22/07/09 - PDcon09 (Pure Data Conference 2009), São Paulo. Uma versão tocada em estúdio integra uma faixa do CD “CCJ Experimental” (2010).

critério de julgamento musical e estético gerado durante a performance. Padrões de recorrências e a organização global são criados a partir de decisões locais. Este tipo de dinâmica caracteriza sistemas complexos auto-organizados e adaptativos como descreve [Forrest, 1990; Holland 1995]. A Figura 1 ilustra a arquitetura do processo onde vê-se os módulos que serão detalhados nos subitens seguintes e o fluxo de sinal de áudio que caminha do contrabaixo em direção ao *output* sonoro.

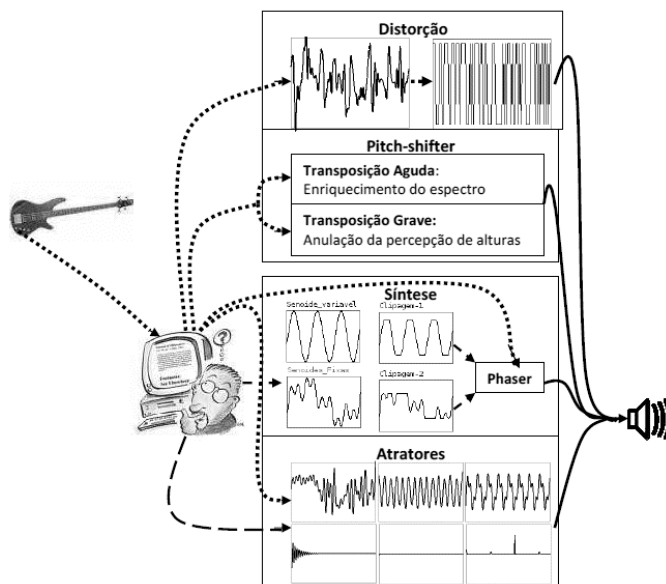


Figura 1 - Ilustração dos módulos de tratamento e síntese sonora. Setas pontilhadas indicam os processos de tratamento do sinal proveniente do contrabaixo; setas tracejadas indicam os processos de síntese; e setas contíguas a saída de áudio de cada módulo

2.1. Distorção

O primeiro módulo é um processo de distorção do sinal do contrabaixo utilizando-se o método de *waveshaping* [Roads, 1979] aplicando uma função sinal (Equação 1) como função de transferência.

$$y(n) = \begin{cases} 1, & x(n) > 0 \\ 0, & x(n) = 0 \\ -1, & x(n) < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Onde $x(n)$ é uma amostra do sinal de entrada e $y(n)$ a saída.

Este procedimento aproxima o som do contrabaixo de uma onda quadrada (vide Figura 2) e iguala a intensidade do sinal do contrabaixo com a do ruído do sistema elétrico-eletrônico, pois maximiza o valor de qualquer amostra ao máximo de intensidade da saída. O gesto de diminuição da amplitude do contrabaixo causa a transformação gradual do som do contrabaixo distorcido e com altura definida para o ruído branco originado no computador (amplificado pelo algoritmo) e vice-versa.

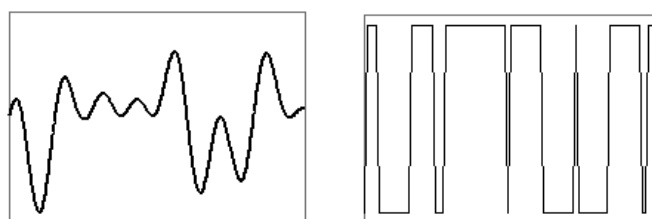


Figura 2 - Resultado da aplicação do móbile de distorção. Uma onda periódica complexa na entrada $x(n)$ e à direita a saída $y(n)$ após o processo de waveshaping.

2.2 Transposição

O segundo móbile foi construído sobre um *pitch-shifter* [Puckette, 2006] e foram criados dois modos de transposição: a) o sinal é transposto para uma faixa de frequência muito grave, próxima do limiar subsônico da audição humana. Este procedimento anula a percepção de alturas do som do contrabaixo. b) qualquer altura do contrabaixo é transposta para uma frequência aguda e constante. Nesse modo, o contrabaixista gera um som similar a um filtro dinâmico com direção (de alturas - do grave para o agudo, e vice-versa) e velocidade dependentes de seu gesto físico sobre o contrabaixo (vide ilustração na segunda coluna da Figura 1, a primeira imagem acima).

2.3 Síntese

O terceiro móbile é constituído por quatro geradores de onda senoidal: três com frequências fixas e o quarto com frequência variável através da interface do computador ou algum periférico (e.g teclado MIDI). As formas de ondas geradas por este móbile podem ser ‘clipadas’ simetricamente no âmbito de amplitude [0 a 1 e -1 a 0] (vide ilustração na segunda coluna da Figura 1, na imagem intermediária). Os sons sintetizados passam pela modulação de um ‘*phaser*’ em conjunto com o som do contrabaixo. A frequência do *phaser* varia entre 0Hz a 10Hz.

2.4 Atrator

O quarto móbile é estruturado sobre a aplicação de uma função iterativa não-linear para gerar forma de ondas. Este algoritmo é descrito pela equação do atrator de *Latoocarfian* [Pickover, 1994]³:

$$\begin{cases} X_{n+1} = \sin(bY_n) + c \sin(bY_n) \\ Y_{n+1} = \sin(aY_n) + d \sin(aY_n) \end{cases} \quad (2)$$

Onde os parâmetros variam em $-3 < a < 3$, $0 < b < 3$, $0.5 < c < 1$, $0 < d < 1.5$

Os parâmetros a , b , c e d são alterados randomicamente dentro dos intervalos definidos na Equação 2, para cada geração de onda. As sequências numéricas ou órbitas geradas convergem para atratores caóticos, periódicos ou quasi-periódicos. As sequências X_n e Y_n geram órbitas numéricas que ao serem utilizadas como formas de onda produzem comportamentos sonoros de caráter ruidoso com alta saturação e grande

³Não é do escopo deste trabalho a discussão sobre emprego de atratores matemáticos para síntese sonora, podendo isto ser visto em [Manzoli, 1993].

variação dinâmica dos componentes espectrais, periodicidade simples ou complexa, sons com envelopes percussivos, silêncio e seqüência de pulsos (vide Figura 3).

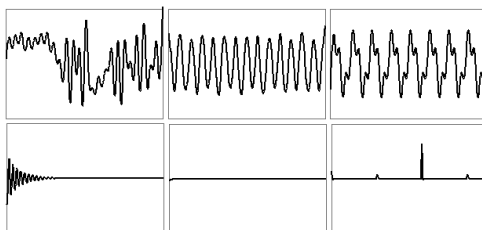


Figura 3 - Tipologias de formas de onda geradas no móbile atrator. Acima, da esquerda para direita: ruído, onda periódica simples e onda periódica complexa. Abaixo, da esquerda para direita: som percussivo, silêncio e seqüência de pulsos.

Para sintetizar um som a partir do atrator lê-se uma lista de valores como uma *lookup table*⁴. Os parâmetros de leitura: altura, tempo de glissando (transição entre alturas) e ritmo (tempo de permutação dos valores de alturas) são passados pelo *performer* computacional que manipula listas com valores numéricos ou determina valores limites através da interface gráfica do programa (GUI) (Figura 4). A seleção dos valores das listas e/ou a geração de valores internos ao âmbito escolhido é feita pelo computador através de funções randômicas e procedimentos seriais. A forma de onda gerada pela equação de *Latoocarfian* também pode ser empregada como função de transferência em um processo de *waveshaping* no sinal do contrabaixo.

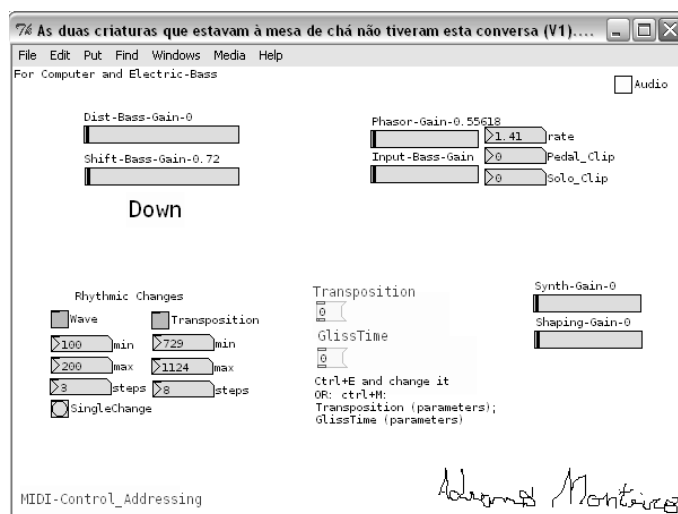


Figura 4 - GUI de “As duas criaturas que estavam a mesa de chá não tiveram esta conversa (versão 1)”

3. Análise Quantitativa de Complexidade Espectral-Musical

Nesta seção descrevemos o método de análise aplicado a uma performance de “As duas criaturas que estavam a mesa de chá não tiveram esta conversa” gravada em estúdio em fevereiro de 2010. Nosso objetivo é relacionar aspectos perceptivos da organização

⁴ A lookup table é um *array* que armazena valores numéricos que são lidos iterativamente pelo computador para gerar padrões regulares que são usados como forma de onda no processo de síntese.

sonoro-musical da peça com medidas quantitativas extraídas de análises espectrais e posterior descrição de complexidade dos dados obtidos, via *Mapas de Poincaré*. A metodologia baseia-se nos seguintes passos: a) *segmentação pela audição e visualização espectral para construir hipótese(s)*, b) *escolha de segmentos e definição do(s) descritor(es) utilizados para extrair características relacionadas à(s) hipótese(s)*, c) *extração das características via descritores*, d) *construção de mapas de Poincaré e análise dos mapas*.

3.1 Segmentação

Adotamos uma segmentação descrita por letras maiúsculas e minúsculas onde as primeiras descrevem seções da performance gravada e as segundas descrevem subseções inseridas nas primeiras (Figura 3). As letras maiúsculas representam a permanência de uma mesma sonoridade durante um período de tempo. Cada seção é caracterizada por uma combinação de móveis ativos e certa estabilidade de uma configuração paramétrica (vide Tabela 1). Os segmentos indicados por letras minúsculas são variações da sonoridade, ou seja, representam pequenas flutuações nos parâmetros de controle ou modo de tocar do contrabaixista, mas que ainda preservam o caráter sonoro da seção. A letra “t” designa pequenos trechos de transição que não têm duração ou estabilidade de um padrão sonoro suficiente para serem tratados na análise como seções ou subseções.

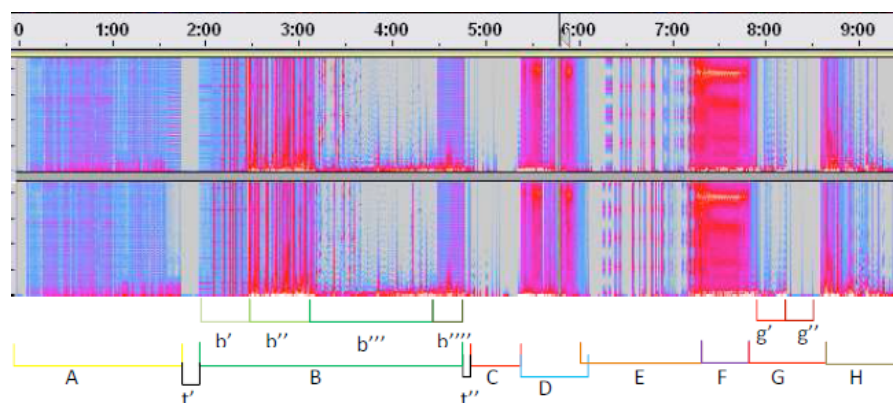


Figura 5 - Espectrograma de gravação estéreo de uma performance de “As duas Criaturas que estavam a mesa de Chá não tiveram esta conversa”. Seções da performance são definidas por letras maiúsculas e subseções por letras minúsculas.

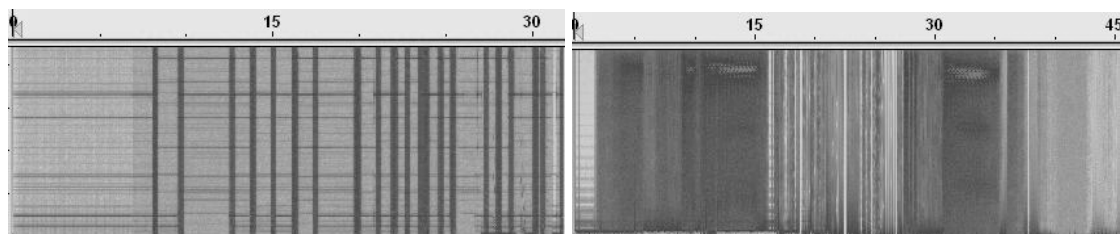
SEÇÃO	SUBSEÇÃO	MÓDULOS ATIVOS
A	–	Atratores - onda pulsos + contrabaixo com waveshaping
t'	–	Atratores - onda pulsos
B	b'	Atratores - onda periódica complexa
	b''	Atratores - onda periódica complexa + contrabaixo com waveshaping
	b'''	Atratores - onda periódica complexa / Síntese - contrabaixo
	b''''	Atratores - onda periódica complexa / Síntese - contrabaixo + senoides
t''	–	Atratores - mudanças rápidas da forma de onda
C	–	Atratores - onda pulsos
D	–	Atratores - onda ruído / Distorção
E	–	Atratores - onda percussão
F	–	Atratores - onda ruído / Distorção
G	g'	Atratores - onda periódica complexa
	g''	Atratores - onda pulsos
H	–	Atratores - mudanças rápidas da forma de onda

Tabela 1 - Relação de móveis presentes em cada seção descrita na Figura 5.

3.2 Análise do Conteúdo Espectral

Neste subitem analisamos características espectrais de seções da gravação descritas no item 3.1 para estabelecermos uma medida de complexidade com os mapas de Poincaré.

Por ser um padrão recorrente durante a execução da peça, escolhemos como característica alvo de análise para descrição espectral das seções a alternância entre: sonoridades com alta taxa de variação na distribuição da energia espectral (sonoridades ruidosas) e sonoridades com distribuição energética espectral estática ou com baixas taxas de variação. As causas de recorrência deste padrão podem ser deduzidas da construção dos móveis, por exemplo: a propriedade de ressaltar o ruído de fundo do sistema ou a sonoridade do contrabaixo, no módulo *distorção* (item 2.1); os dois tipos de resultados sonoros obtidos dos modos de operação do módulo *transposição* (item 2.2); e os tipos de onda gerados no módulo *atrator* (item 2.4). Por tanto, selecionamos para análise a subseção b' e a seção D, nas quais pode-se observar claramente a alternância entre sinal ruidoso e frequências estáticas nos espectrogramas da Figura 6.



Figuras 6 - Espectrogramas da subseção b', à esquerda, com sonoridade predominante do módulo *atrator*, e da seção D, à direita, com sonoridade predominante do contrabaixo processado pelo móbil *distorção*.

No espectrograma da subseção b', nota-se a estrutura permutativa, que foi obtida no móbil *atrator* pela automação da escolha dos valores dos parâmetros de leitura da onda (ver item 2.4). À esquerda na Figura 6, as sobreposições de linhas horizontais representam sonoridades estáticas formadas por transposições da forma de onda periódica complexa (ver Tabela 1); as linhas verticais representam sons ruidosos obtidos por modulação de frequência gerada por valores baixos no parâmetro de tempo de *glissando*. No espectrograma da seção D as regiões escuras caracterizam ruído branco gerado no móbil *distorção* pelo aumento de amplitude do ruído do sistema elétrico-eletrônico (ver item 2.1); as regiões listradas são momentos de transição entre o ruído branco e o som gerado pelo contrabaixo. O jogo de permutação entre esses elementos, neste caso, foi realizado pela improvisação do contrabaixista.

Definimos a extração do *fluxo espectral* para identificação da característica alvo descrita acima. O fluxo espectral calcula a diferença de magnitude entre sucessivos quadros de análise espectral obtidos através da *transformada de Fourier* (short-time Fourier transform — STFT) de um sinal de áudio digitalizado $x(n)$ (Equação 3).

$$X(n, k) = \sum_{m=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} \frac{1}{N} x(hn + m)w(m)e^{-\frac{2j\pi mk}{N}} \quad (3)$$

Onde $X(n, k)$ representa a *kaésima* banda (*bin*) do *enésimo* quadro, $w(m)$ é uma janela de N amostras, e h é o número de amostras de interpolação (*hop size*). Em nossa

análise definimos $N = 2048$ amostras, $h = 1024$ amostras e utilizamos um janelamento do tipo Hanning.

O fluxo espectral, $FE(n)$, é definido formalmente na Equação 4.

$$FE(n) = \sum_{k=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} |X(n, k) - X(n-1, k)| \quad (4)$$

O valor do fluxo espectral é baixo para sinais com envelope espectral estável e resulta picos para sinais em que o envelope espectral possui alta taxa de variação. A partir da análise apontada na Figura 6, consideramos que a extração deste descritor espectral é própria para evidenciar o padrão de alternância na execução da obra que apresentou trechos do sinal com envelope espectral estático e outros com envelope espectral com muita variação. A Figura 7 apresenta os gráficos gerados da extração do fluxo espectral da subseção b' e seção D.

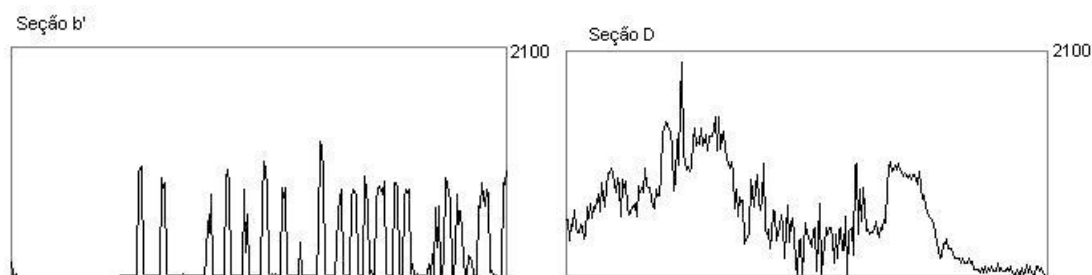


Figura 7 - Gráficos de fluxo espectral em função do tempo extraídos da subseção b', à esquerda, e seção D, à direita.

Comparando a análise da subseção b' na Figura 7 com o espectrograma da mesma subseção na Figura 6, assim como a análise da seção D na Figura 7 e seu respectivo espectrograma na Figura 6, nota-se que as regiões de valores altos nos gráficos da Figura 7 ocupam a mesma posição no eixo horizontal que as regiões com predominância de cor escura em todo sentido vertical nos espectrogramas da Figura 6. Ou seja, os picos das análises são encontrados nas mesmas regiões que a representação de ruído (envelope espectral com alta variabilidade) com alta energia nos espectrogramas, confirmando a utilidade da extração de fluxo espectral para detecção de sonoridades com envelope espectral de alta variabilidade.

3.3 Mapas de Poincaré

A recorrência caracteriza a regularidade ou não-regularidade temporal dos estados de sistemas complexos ou caóticos [Bradley 2002]. Os mapas de Poincaré sintetizam o comportamento complexo de cada seção num gráfico bi-dimensional descrevendo recorrências quando uma mesma região do gráfico apresenta aglomerados de pontos ou *clusters*. Define-se formalmente os mapa de Poincaré como: dado uma série temporal unidimensional $S(t) : [a..b] \subset \mathfrak{R} \rightarrow [c..d] \subset \mathfrak{R}$ com valores tomados em $t = t_1, t_2, t_3 \dots t_n$ descritos como $A = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, o mapa de Poincaré é o gráfico associado ao conjunto de pares ordenados $P = \{(x_1, x_2), (x_2, x_3) \dots (x_{n-1}, x_n)\}$. Exemplificando, quando o mapa descreve uma sequência randômica, o gráfico é totalmente preenchido com pontos. Em oposição quando a informação é periódica, apenas a faixa da diagonal principal é preenchida. Quando mais estreita for a faixa da diagonal mais recorrente é o sinal.

Na figura 8 apresentamos os mapas de Poincaré gerados a partir do cálculo do fluxo espectral da subseção b' e seção D.

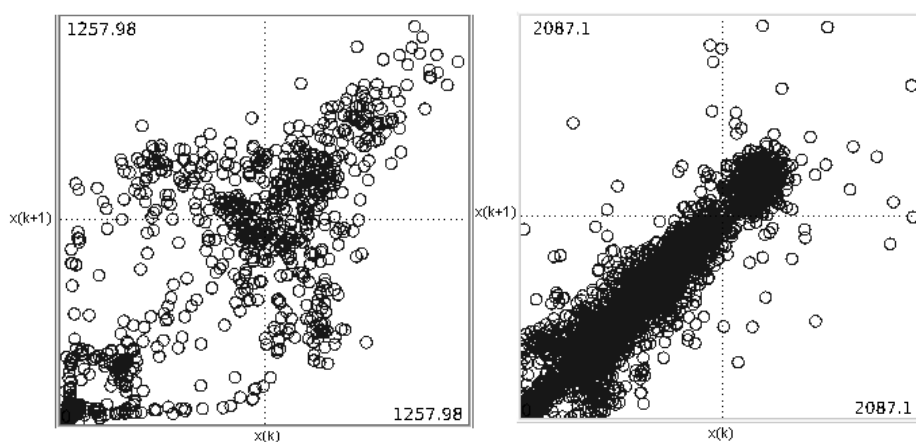


Figura 8 - Mapas de Poincaré dos segmentos da primeira gravação. À esquerda mapa da subseção b', e à direita mapa da seção D.

A análise dos dados espectrais nos mapas de Poincaré possibilita a visualização da complexidade da dinâmica das medidas extraídas. A densidade de pontos no quadrante superior indica a presença de conteúdo espectral com alta taxa de variação (sonoridade ruidosa) enquanto pontos acumulados próximos da origem do gráfico indicam conteúdo espectral estático. A concentração de pontos na faixa diagonal do mapa é índice da recorrência dos valores de fluxo espectral e a dispersão fora da diagonal representa alterações dos valores. A subseção b' apresenta maior dispersão de pontos no gráfico (à esquerda na Figura 8), evidenciando mais permutações e mudanças súbitas entre valores altos e baixos de fluxo espectral que correspondem a permutação entre as características de alta variação e estabilidade do envelope espectral. A concentração de pontos verticais na seção D (à direita na Figura 8), evidencia estabilidade/recorrência das componentes espectrais e mudanças mais graduais.

4. Implementação

A metodologia de análise descrita no item 3 foi implementada na versão 2 de “As Duas Criaturas que Estavam a Mesa de Chá não Tiveram esta Conversa” como parte de um sistema de memória e recuperação da informação musical como expostos no diagrama na Figura 9.

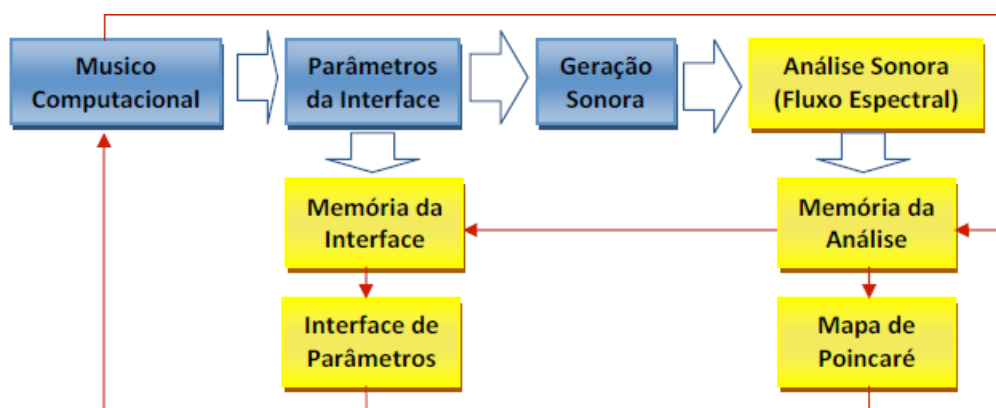


Figura 9 - Diagrama do processo de análise, memória e recuperação de informações.

Na figura acima os quadrados escuros indicam os elementos presentes na versão 1 da obra e os novos elementos são designados por quadrados claros. As setas largas indicam processos que ocorrem no momento da geração sonora e as setas estreitas designam os processos de recuperação da informação gravada.

A análise (extração do fluxo espectral) do áudio gerado pelo software e as informações paramétrica da interface são gravados durante a performance na mesma taxa de amostragem. O instrumentista computacional pode acessar segmentos da memória gravada definidos por: uma janela temporal e por um ponto da gravação, centro da janela, ambos são parâmetros de controle. Um mapa de Poincaré do segmento de memória selecionado pelo músico é construído em uma janela gráfica na interface para representação das características sonoras-musicais daquele segmento (conforme descrito no item 3.2 e 3.3). Simultaneamente, uma terceira janela exibe os parâmetros de controle relativo ao ponto da gravação selecionado pelo músico. Esta janela de interface compartilha da mesma configuração da janela principal, porém seus ícones de interface (e.g. *sliders*, botões, caixas de números, etc) não transmitem informações paramétricas para os algoritmos geradores de som, servem apenas para exibição das informações que serão selecionadas pelo músico — com única exceção dos parâmetros da equação de *Latoocarfrican*, que não possuem interface na versão inicial (vide item 2.4) e podem ser re-atribuídos pela nova interface.

A Figura 10 apresenta interface da versão 2 da obra. No *slider* inferior da janela de interface central o músico escolhe os parâmetros: tempo de gravação da análise da performance, o tamanho do segmento de análise e a posição na memória dos dados que serão exibidos no mapa de Poincaré. O mapa de Poincaré é a janela de interface à esquerda, e os parâmetros relativos a esse são mostrados na janela de interface à direita.

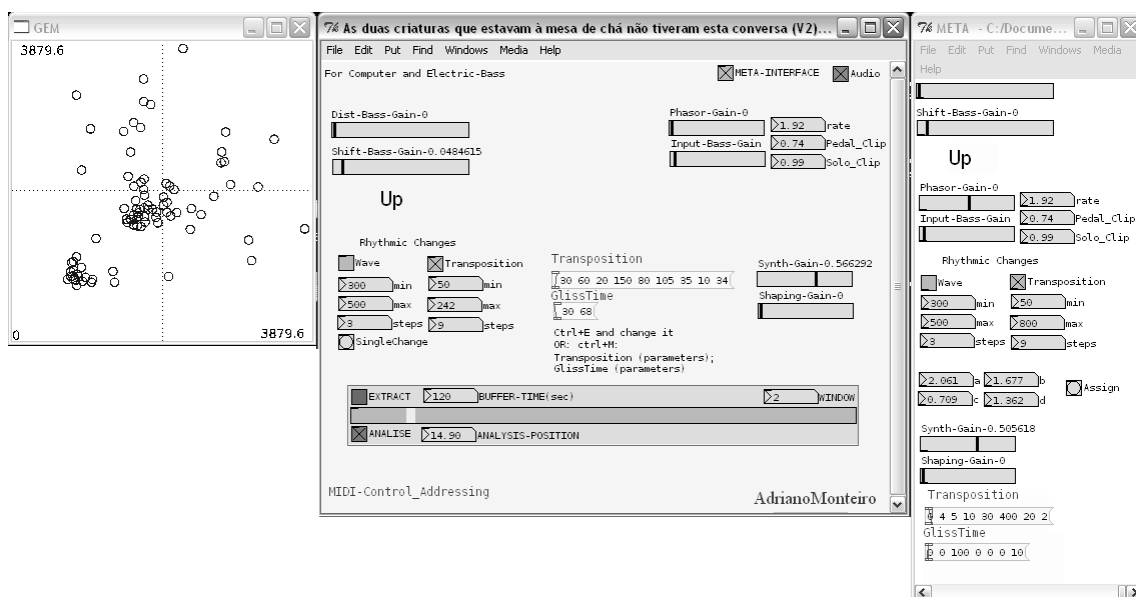


Figura 10- Interface de “As Duas Criaturas que Estavam a Mesa de Chá não Tiveram esta Conversa (versão 2)”. A janela central é a interface de controle principal; a janela direita a interface que mostra os valores paramétricos gravados na memória; e a janela esquerda, o mapa de Poincaré com a análise do trecho de memória selecionado.

Através deste recurso o software permite ao músico computacional um meio de acessar a memória da performance por uma representação simbólica de aspectos da organização sonora-musical dos eventos passados. Com isso, estas características podem ser avaliadas, re-contextualizadas e recuperadas pelo músico de acordo com o contexto e as necessidades musicais no momento presente da performance.

5. Discussão e Conclusão

Apresentamos neste artigo uma metodologia de análise e recuperação de informação musical contextualizada na composição interativa “As Duas Criaturas que Estavam à Mesa de Chá Não Tiveram esta Conversa” para computador e baixo elétrico. Descrevemos a estruturação algorítmica da obra e a comparamos com uma análise de uma gravação de performance. Detectamos que a alternância entre elementos de alta e baixa dinamicidade espectral foi uma característica importante na organização sonoro-musical da performance. Elegemos então a extração da medida de fluxo espectral para detecção desta característica e aplicamos os mapas de Poincaré para medição e visualização da complexidade da dinâmica deste parâmetro. Por fim, implementamos este procedimento de análise no algoritmo da obra com intuito de possibilitar ao músico-intérprete computacional acesso a memória da performance através da representação de um aspecto relevante do conteúdo sonoro-musical e combinamos isso com uma memória paralela dos parâmetros do software para que a sonoridade possa ser recuperada. Os próximos passos deste trabalho incluem a pesquisa sobre parâmetros para descrição de outros aspectos importantes da organização sonoro-musical da performance desta obra e um sistema de recuperação da informação musical do contrabaixo para aprimoramento da relação interativa entre software e contrabaixo.

6. Agradecimentos

Agradecemos às agências de fomento à pesquisa: FAPESP pelo financiamento da pesquisa de mestrado em música de Monteiro do programa de pós-graduação em música, realizada no Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora (NICS - UNICAMP); e ao CNPq, sendo que este trabalho também se insere nos desdobramentos do projeto Universal do CNPq 304064/2010-6 e Manzolli tem o apoio de bolsa de produtividade de Pesquisa do CNPq.

7. Referências

- Acharya, U.R., Joseph, K. P., Kannathal, N., Lim, C. M., Suri, J. S. (2006). Heart rate variability: a review. “Medical and Biological Engineering and Computing”, 44(12), 1031–1051.
- Birkhoff, G. (1927) “Dynamical Systems”. Ed. AMS books, ISBN 0-8218-3394-4.
- Bradley, E. Mantilla, R. (2002) “Recurrence plots and unstable periodic orbits”. *Chaos*, 12(3), 596–600.
- Camurri, A., Varni, G., Volpe, G. (2010) “Towards Analysis of Expressive Gesture in Groups of Users: Computational Models of Expressive Social Interaction”. *Lecture Notes in Computer Science*, Springer: Berlin, 5934, 122–133.
- Chadabe, J. (1997) “Electric Sound: The Past and Promise of Electronic Music.” Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

- Forrest S. (1990) Ed. "Emergent Computation: Self-Organizing, Collective, and Cooperation Computing Networks", MIT Press, Cambridge, Mass. Also in *Physica D*.
- Holland, J.H. (1995) "Adaptation in Natural and Artificial Systems" Cambridge, MA, MIT Press, Bradford Books.
- Magnusson, T. (2010) "Designing Constraints: Composing and Performing with Digital Musical Systems". *Computer Music Journal* , 34:4, pp. 62-73, Massachusetts Institute of Technology
- Malt, M., Jourdan, E. (2008) "Zsa.Descriptors: a library for real-time descriptors analysis". In: 5th Sound and Music Computing Conference, Berlin, Allemagne, 31th july to August 3rd.
- Manzolli, J. (1993) "Musical Applications Derived from FracWave Sound Synthesis Method" . 94th Convention 1993, March 16-19, Berlin.
- Monteiro, A. Manzolli, J. (2011), " Análise Computacional de Texturas Sonoras via Mapas de Poincaré." Aprovado para o XXI Congresso da ANPPOM, Uberlândia.
- Pereira, E. M. (2009) "Estudos Sobre uma Ferramenta de Classificação Musical". Campinas, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas.
- Pickover, C.A. (1994) "Chaos in wonderland: Visual Adventures in Fractal World". St. Martin's Press, New York, USA.
- Poincaré, H. (1923) "The Foundations of Science: Science and Hypothesis, the value of Science, Science and Method" The Science Press, New York.
- Puckette, M., Apel, T. (1998) "Real-time audio analysis tools for Pd and MSP". In: International Computer Music Conference. San Francisco: International Computer Music Association, pp. 109-112,
- Puckette, M. (2006.) "The Theory and Technique of Electronic Music" In <http://crca.ucsd.edu/~msp/techniques.htm> accessed in 24/03/2011.
- Roads, C. (1979) "A Tutorial on Non-Linear Distortion or Waveshaping Synthesis". *Computer Music Journal*, Vol. 3, No. 2, pp. 29-34.
- Schnell, N. e Batier, M. (2002). "Introducing Composed Instruments, Technical and Musicological Implications". Proceedings of the 2002 Conference on New Instruments for Musical Expression (NIME-02), Dublin, Ireland, May 24-26,.