



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP  
REPOSITÓRIO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E INTELLECTUAL DA UNICAMP

**Versão do arquivo anexado / Version of attached file:**

Versão do Editor / Published Version

**Mais informações no site da editora / Further information on publisher's website:**

<https://www.revistas.ufg.br/musica/article/view/43097/21620>

**DOI: 10.5216/mh.v16i1.43097**

**Direitos autorais / Publisher's copyright statement:**

©2016 by UFG/Escola de Música e Artes Cênicas. All rights reserved.

DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

Cidade Universitária Zeferino Vaz Barão Geraldo

CEP 13083-970 – Campinas SP

Fone: (19) 3521-6493

<http://www.repositorio.unicamp.br>

## “O azeite, a lua e o rio”: o segundo diário de bordo de uma composição a partir de descritores de áudio

Ivan Eiji Simurra (AI/Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil)  
ieysimurra@gmail.com

Jônatas Manzolli (Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil)  
jotamanzo@gmail.com

**Resumo:** Trata-se do segundo Diário de Bordo relacionado a uma série de composições com o objetivo centrado na criação de obras a partir da análise de conteúdo espectral. Utilizamos tal metodologia para elaborar a obra “O azeite, a lua e o rio – numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho”, para flauta; clarinete e violoncelo (2013). Para caracterizar as sonoridades desejadas, desenvolveu-se um ambiente de programação em Pure Data, em conjunto com uma biblioteca de análise, via Descritores de Áudio, denominada PDescriptors. Com o auxílio do computador, realizamos diversos experimentos para avaliar uma variedade de configurações instrumentais relacionadas a sonoridades “rugosas”, “lisas” e com intensidades sonoras às quais variam de *pianissimo* a *fortissimo*. A pesquisa ratifica a aplicação de novas tecnologias computacionais tanto no processo criativo quanto em análise musical.

**Palavras-chave:** Composição musical; Composição musical assistida por computador; Timbre musical; Descritores de áudio; PureData.

“O azeite, a lua e o rio”: the second logbook of a composition via audio descriptors

**Abstract:** This article presents the second Logbook related to a series of compositions whose constructions were based on the digital analysis of spectral content. The procedure was applied in the preparation of the work “O azeite, a lua e o rio – numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho” for flute; clarinet and cello (2013). A programming environment was developed in PD, together with a sound analysis library using audio descriptors called PDescriptors. We performed several experiments to evaluate a variety of timbre settings, relating them to perceivable qualities of sounds such as “roughness” and “smoothness”, with intensities ranging from *pianissimo* to *fortissimo*. This second Logbook confirms not only the applicability but also the potential for innovation that an embedding of such technologies in both the creative process and musical analysis may entail

**Keywords:** Music composition; Computer-Assisted composition; Musical timbre; Audio descriptors; PureData

“O azeite, a lua e o rio”: el segundo libro de registro de una composición a través de descriptores de audio

**Resumen:** Este artículo presenta el segundo Libro de registro relacionada con una serie de composiciones cuyas construcciones se basaron en el análisis digital de contenido espectral. El procedimiento se aplicó en la preparación de la obra “O azeite, a lua e o rio – numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho” para flauta; clarinete y violonchelo (2013). Para caracterizar los sonidos deseables, desarrollado un entorno de programación Pure Data, junto con un análisis de la biblioteca a través de descriptores de audio, llamadas PDescriptors. Se realizó varios experimentos para evaluar una variedad de entornos tímbricos, relacionándolos con perceptible cualidades de sonidos como “rugosidad” y “suavidad”, con intensidades que van desde el *pianissimo* al *fortissimo*. Este Segundo Libro de registro confirma no sólo la aplicabilidad, sino también el potencial de innovación de que una incrustación de este tipo de tecnologías, tanto en el proceso creativo y análisis musical puede conllevar

**Palabras clave:** Composición musical; Composición musical asistida por ordenador; Timbre musical; Descriptores de audio; PureData.

### Introdução

Inseridas na problemática acerca do timbre em composição musical, as áreas de pesquisa em Composição Assistida por Computador, Computação Musical, Processamento de Áudio Digital e outras áreas do conhecimento, oferecem ferramentas significativas para a análise e descrição do fenômeno sonoro. Os insumos técnicos, desenvolvidos pela tecnologia musical, podem ser uma prerrogativa muito eficaz quando aplicados à composição musical. Tal afirmação torna-se ainda mais relevante quando se trata da composição que apoia seu discurso no timbre musical. Nesse sentido, descrevê-lo é, de fato, interpretá-lo nas suas diversas relações paramétricas. Em consonância com esse ponto de vista, ve-

rifica-se que há uma preocupação cada vez mais acentuada, em trabalhos composicionais desenvolvidos, principalmente, a partir do final do século XIX e decorrer do século XX, com a obtenção de resultados timbrísticos mais refinados e particulares, tanto no âmbito do planejamento quanto na realização instrumental/vocal. Como apontado por Barrière em seu trabalho acerca da importância do timbre no pensamento composicional, corroboram para com esse cenário contemporâneo a obra de compositores como Mahler, Wagner, Debussy, Varèse, Messiaen, Ligeti, Stockhausen, Tristan Murail, dentre outros (BARRIÈRE, 1991). Em contrapartida, em diversas subcategorias da indústria do entretenimento sonoro, utilizam-se procedimentos técnicos para descrever as características de um sinal de áudio como, por exemplo, reconhecer padrões melódicos e da fala (MAUCH et al., 2011), (RAFII & PARDO, 2012), (BOULANGER-LEWANDOWSKI et al., 2013). No âmbito dos recursos técnicos de assistência aos trabalhos de produção musical Scott e Kim (SCOTT & KIM, 2013) propuseram um método de mixagem automática a partir da identificação das características timbrísticas de instrumentos musicais. Byrd e Fingerhut (2002) utilizam recursos de processamento digital de sinais para extrair características do espectro do som. Tais medidas são denominadas “Descritores de Áudio” na literatura especializada da área. Como já descrevemos em (SIMURRA & MANZOLLI, 2015), utilizamos essa pesquisa em *Music Information Retrieval* ou MIR, como suporte à escrita de música instrumental. Este artigo versa sobre a aplicação dessa pesquisa na composição de uma obra camerística. Apresentamos os métodos de planejamento composicional da obra “*O azeite, a lua e o rio – numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho*” (2013), para flauta; clarinete/clarone e violoncelo. A estreia dessa obra foi realizada, em concerto, durante a 14<sup>o</sup> Conferência da *International Society for Music Information Retrieval*, em Curitiba, Paraná.<sup>1</sup> Esse é o segundo Diário de Bordo relacionado a uma série de composições que visam à construção de sonoridades utilizando-se recursos de Análise e Orquestração Musical Assistida por Computador.<sup>2</sup> A construção de um campo para explorar material timbrístico, tal como descrito neste artigo, relaciona-se diretamente ao ponto de vista teórico apresentado pelo musicólogo Makis Solomos (SOLOMOS, 2013). A tese de Solomos versa sobre a problemática da “*emergência do timbre, da dissonância e da introdução de ruído*” na música, especialmente, em obras produzidas a partir do século XX. Ele enfatiza que novos parâmetros de caracterização sonora conduziram a novos paradigmas de Escuta e de composição musical, com os quais o som define-se como o agente principal de uma obra musical. A esse som, descrito conceitualmente por Solomos, associamos o termo *sonoridade*, tal como apresentado por Didier Guigue (GUIGUE, 2011), para conduzir o planejamento e a realização da composição aqui apresentada. Em sua “*Estética da Sonoridade*”, Guigue analisa como alguns compositores Debussy, Lachenmann e Crumb, dentre outros, abordaram a problemática do timbre em composições elaboradas para piano solo. A obra descrita neste artigo parte do planejamento de *sonoridades contrastantes*, denominadas *aveludadas* e *rugosas* e da variação de suas intensidades em diferentes âmbitos de dinâmica. Iniciamos nosso projeto com a proposta de quatro variações: a) *sonoridades aveludadas, com pouca intensidade*; b) *sonoridades rugosas, com pouca intensidade*; c) *sonoridades rugosas, com acentuada intensidade* e; d) *sonoridades aveludadas, com acentuada intensidade*. O segundo passo foi encontrar os Descritores de Áudio que se relacionassem com as mesmas. Utilizando as referências da literatura (JENSEN, 1999; THIEDE, 1999; FUJISHIMA, 1999), pudemos inferir que os descritores que melhor se inseririam ao nosso planejamento seriam: *Irregularidade Espectral*, *Loudness* e *Croma Espectral*. Na Seção 2, discutiremos melhor esse processo. Em resumo, o processo criativo aqui relatado, centrou-se em dois universos: a) as técnicas de execução instrumental estendidas e b) as ferramentas computacionais para analisar e descrever es-

taticamente o conteúdo espectral do material gerado por tais técnicas. Assim, desenvolvemos um método para auxiliar o compositor a relacionar: a) as descrições de alto nível ou simbólicas, aqui denominadas de sonoridades, com b) os modos específicos de execução instrumental estendida. Nas próximas seções elucidamos o nosso modelo composicional, apresentando os seus objetivos principais (Seção 1). A seguir, recapitulamos a literatura sobre os Descritores de Áudio, com o objetivo de contextualizar a utilização que fazemos dos mesmos no nosso estudo (Seção 2). Na Seção 3, descrevemos os conceitos-chave do processo criativo de “*O azeite, a lua e o rio*”, o qual foi constituído de quatro etapas: a) definição das características timbrísticas a partir dos descritores; b) *Pontos de Referência*; c) *Misturas Sonoras* e d) transcrição das combinações simuladas nas *Misturas Sonoras* na partitura. A Seção 4 discute a relação entre *Pontos de Referência* e *Misturas Sonoras*, a variedade de técnicas estendidas associadas aos descritores e respectivas dinâmicas as escolhas feitas pelo compositor no processo de transcrição. Na Seção conclusória, fazemos projeções futuras e concluímos o artigo.

## 1. Modelo composicional

O conceito composicional da obra, centrou-se nas particularidades contrastantes das quatro variações de sonoridades descritas na Seção introdutória. Esperávamos produzir uma mescla refinada do material sonoro tomando como ponto de partida um conjunto de técnicas estendidas de execução instrumental de três instrumentos. Esse processo criativo produziu diversas relações entre o material sonoro descrito a partir da análise dos descritores, configurações instrumentais e, finalmente, nas transcrições da partitura. O processo apoiou-se nos conceitos definidos em (SIMURRA; MANZOLLI, 2015), a saber: a) *Pontos de Referência*, são as características timbrísticas potenciais associadas aos Descritores de Áudio, as quais definem o campo macroestrutural da composição e b) *Misturas Sonoras*, simulações computacionais que geram arquivos de áudio, com o objetivo de ampliar as possibilidades de mistura instrumental. Nas *Misturas Sonoras*, sobrepomos registros de áudio de diversos modos de ataque, articulações e técnicas estendidas instrumentais. Os registros que utilizamos pertencem ao banco de dados sonoros compilado por Ballet et al. (BALLET et al., 1999). Em resumo, o método utilizado para elaborar a obra concentrou-se nas seguintes etapas: 1) Definir sonoridades características e buscar os Descritores de Áudio congruentes com as mesmas; 2) Estabelecer os *Pontos de Referência*; 3) Realizar simulações computacionais com registros sonoros para gerar misturas e interpolações entre os *Pontos de Referência*. Tais experimentos foram denominados como *Misturas Sonoras*; e 4) Efetuar escolhas entre as misturas e interpolações para o processo de transcrição na obra. A extração de dados para as Etapas 1 e 3, relativos aos dados dos descritores “Irregularidade Espectral” e de “*Loudness*” foram realizadas com a biblioteca PDescriptors, desenvolvida por Monteiro (2012) no Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora - NICS/UNICAMP.

## 2. Os descritores de áudio

A partir da variação no tempo e do espectro de frequências, os descritores de áudio são ferramentas analíticas que representam características do sinal musical em curvas unidimensionais. Desta forma, reduz-se a complexidade da informação ao focar-se aspectos

específicos. Como apontado por Rimoldi, embora tenham caráter reducionista em relação ao objeto analisado, os descritores de áudio são ferramentas úteis para criar uma taxonomia de características do conteúdo espectral do sinal musical (RIMOLDI, 2013 pg. 01). Essas podem ser correlacionadas e, não necessariamente, equivalentes aos atributos subjetivos da percepção sonora, tais como “brilho”, “opacidade”, “rugosidade”, “ruidosidade”, “maciez”, dentre outros. Fizemos um levantamento de referências que nos auxiliaram no processo composicional. Theodoridis (THEODORIDIS & KOUTROUMBAS, 2009) relaciona o descritor denominado Centroide com a variação entre brilho e opacidade do som. Brent (BRENT, 2010) associa rugosidade e maciez com o descritor denominado irregularidade. O Croma foi apontado por Bartsch e Wakefield (BARTSCH & WAKEFIELD, 2001) como o descritor que associa a representação do espectro de frequência em classes de alturas musicais. Zwicker e Scharf (ZWICKER & SCHARF, 1955) relacionam o *Loudness* com a descrição da magnitude das frequências sonoras, percebidas pelo ouvido humano. Para subsidiar as definições que se seguem, é necessário definirmos a “Transformada de Fourier de Tempo Curto” (*Short Time Fourier Transform* ou STFT). A explicação desse procedimento foge ao escopo desse artigo mas há vasta publicação sobre o assunto (OPPENHEIM *et al.*, 1989), (ROADS, 2004) e (SHEH & ELLIS, 2003). Apresentamos a seguir a STFT descrita na Equação 1, pois essa definição será útil para as outras que se seguem.

$$STFT_{[k,n]} = \sum_{m=0}^{N-1} x[n-m]w[m]e^{-j2\pi km/n} \quad \text{Equação 1}$$

Onde  $k$  indexa o eixo de frequência (*bin*) dentro do intervalo  $0 < k < N - 1$  do  $n^{\text{ésimo}}$  quadro;  $w[m]$  é uma janela de  $N$  amostras.

## 2.1 Loudness

Segundo Fletcher e Munson (FLETCHER & MUNSON, 1933), “*Loudness*” é um termo psicológico para descrever a magnitude da sensação auditiva de variação de intensidade. Os atributos subjetivos para medir a intensidade sonora, tais como “muito alto”, “alto”, “moderadamente alto”, “moderadamente baixo”, “baixo” e “muito baixo” são correlacionados com termos musicais como *fortissimo*, *forte*, ‘*mezzoforte*’, *mezzopiano*, *piano* e *pianíssimo*. Mas esses termos não são absolutos nem tampouco unívocos para mensurar a capacidade de percepção humana de intensidade sonora. Diversos estudos propuseram modelos para descrever o comportamento do sistema auditivo com relação ao *Loudness* (ZWICKER & SCHARF, 1965), (FLORENTINE *et al.*, 1978), (MIŚKIEWICZ & RAKOWSKI, 1994), (THIEDE, 1999), (PLOMP, 2001). Musicólogos já utilizaram os modelos da percepção do *Loudness*, em seus trabalhos (COLLINS, 2005), (EINBOND, 2005) e (BULLOCK, 2008). Outro ponto importante a ressaltar, a percepção de intensidade sonora varia de acordo com a frequência, ou seja, a percepção de intensidade varia com o registro. Esse comportamento psicoacústico é descrito pelas curvas de Fletcher e Munson (FLETCHER & MUNSON, 1933). A Figura 1 apresenta as curvas de audibilidade, que são denominadas de Curvas de *Iso-Loudness*.



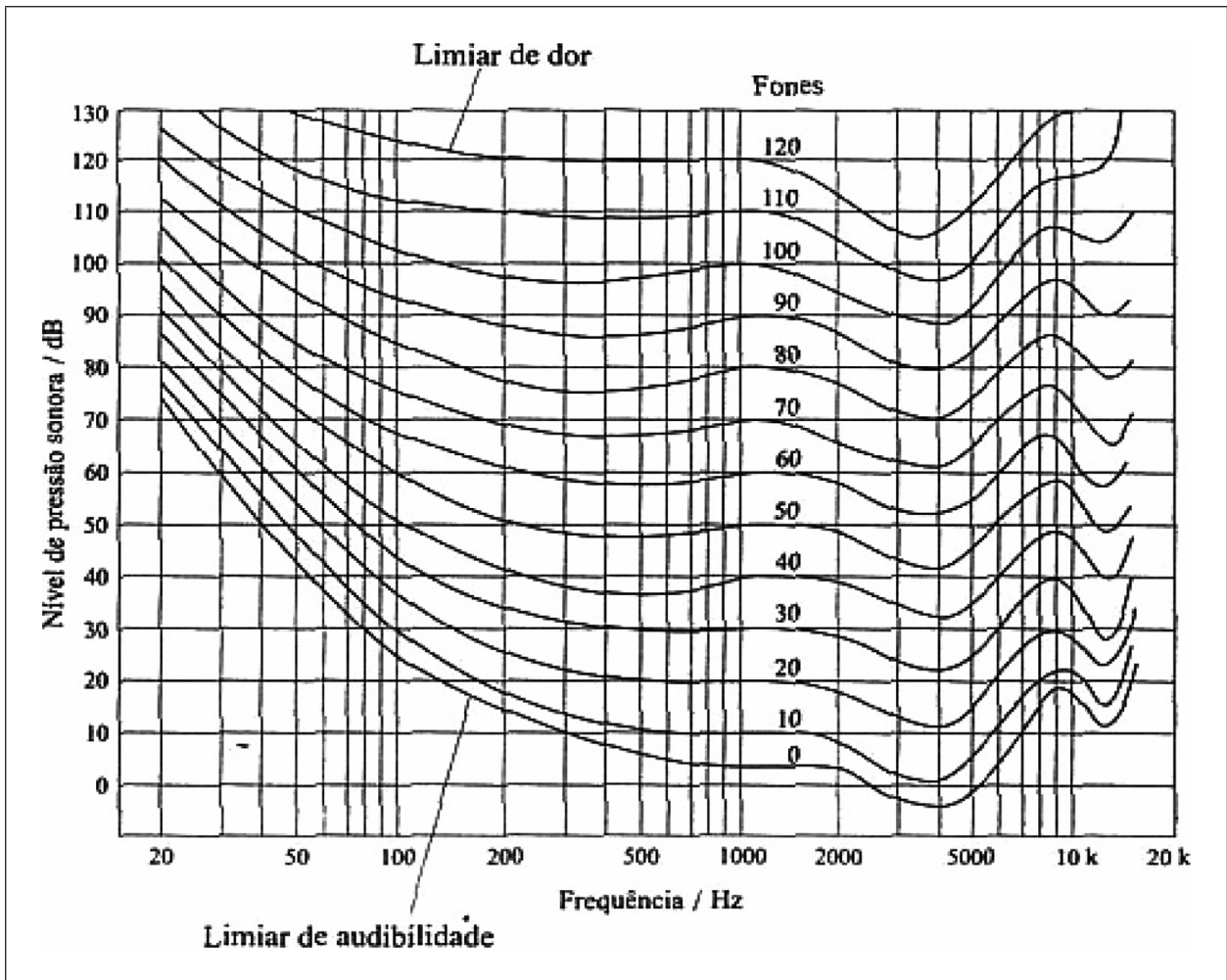


Figura 1: Curvas de audibilidade relacionando Loudness com a percepção de frequências sonoras em Hz.

Dentro do âmbito da obra “*O azeite, a lua e o rio*”, utilizamos como referência o trabalho de Thiede (THIEDE, 1999). O pesquisador destaca que a percepção sonora pode ser descrita a partir de cinco etapas, distribuídas em dois módulos distintos. O primeiro modelo é relacionado às estruturas fisiológicas do ouvido humano, nas quais as informações sonoras, do meio externo, são convertidas em impulsos elétricos, para comunicação neural. O segundo é relacionado às propriedades cognitivas que realizam o reconhecimento de diversos padrões para recuperar a informação sonora. A Figura 2 sintetiza as etapas discutidas pelo pesquisador.

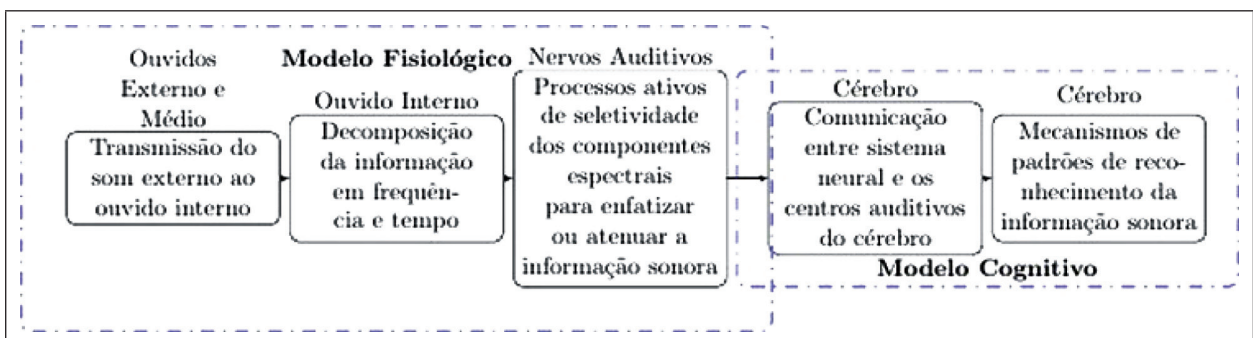


Figura 2: Síntese das etapas do processo auditivo.

No seu texto, o modelo proposto é finalmente representado por uma curva de correção na qual considera-se a relação de frequência e intensidade sonora, a partir do trabalho de Fletcher e Munson (FLETCHER & MUNSON, 1933) descrito na Figura 1. Essa correção, é dada na Equação 2:

$$W_{[k]} = -0,6 \cdot 3,64 \cdot f[k]^{-0,8} + 6,5 \cdot e^{-0,6(f[k]-3,3)^2} - 10^{-3} f[k]^4 \quad \text{Equação 2}$$

Segundo Pereira (PEREIRA, 2009, p. 19-20), a Equação 2 descreve uma função de ponderação a qual atenua ou enfatiza as componentes espectrais, de acordo com o comportamento auditivo. A frequência  $f(k)$  é medida em Hz, dada por  $f(k) = k \cdot d$ . A variável  $d$  é a diferença entre duas linhas espectrais consecutivas, dado em Hz. Dessa forma, o Loudness de um quadro de análise espectral, em relação a STFT é dado pela Equação 3, a seguir:

$$L_{[i]} = \sum_{k=1}^{K-1} |X_i[k]|^2 10^{w(k)/20} \quad \text{Equação 3}$$

Onde  $|X_i[k]|$  representa a magnitude da  $k^{\text{ésima}}$  componente espectral da  $i^{\text{ésima}}$  janela;  $K$  é a metade de número de amostras da janela de análise.

## 2.2 Irregularidade espectral

Como apontado por Krimphoff et al., (KIMPHOFF et al., 1994), a *Irregularidade Espectral* apresenta-se como um atributo perceptivo fundamental para identificar sonoridades, separar e distinguir instrumentos musicais. Essa medida relaciona-se com o comportamento do envelope espectral que é uma curva que caracteriza a variação das magnitudes das componentes de frequência. Contornos suaves, com pouca alternância de picos espectrais e, conseqüentemente, com baixo índice de irregularidade, caracterizam sonoridades aveludadas e lisas. Inversamente, contornos com maior presença de picos espectrais e com alto índice de irregularidade espectral, caracterizam-se por sonoridades rugosas e estriadas. Para detalhar as considerações expostas no parágrafo anterior, a Figura 3 apresenta dois instrumentos distintos, clarinete e violoncelo, executando a mesma nota musical  $Lá\#$ , com a dinâmica musical *forte* ou *f*. Nota-se que o clarinete possui o valor médio de irregularidade espectral maior (Figura 3a) que o violoncelo, o qual possui comportamento mais difuso mas com valor médio menor de irregularidade espectral (Figura 3b). Do ponto de vista do descritor, o clarinete é mais rugoso e estriado que o violoncelo, mais aveludado e suave.

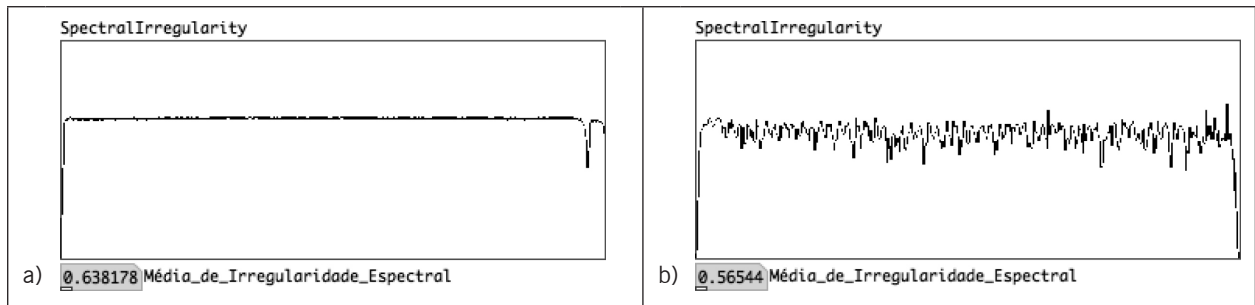


Figura 3: Análise da média de Irregularidade Espectral de dois instrumentos executando a mesma altura e a mesma dinâmica musical. (a) Análise do Clarinete, em *Sib*; (b) Análise do Violoncelo.

O maior valor da média de irregularidade espectral, extraído do clarinete, pode ser justificado pelo comportamento das componentes espectrais, o qual constitui o seu envelope espectral. Pelas características acústica e física do instrumento, o clarinete apresenta maior energia entre os seus componentes ímpares. A Figura 4 apresenta o comportamento dos picos espectrais do instrumento.

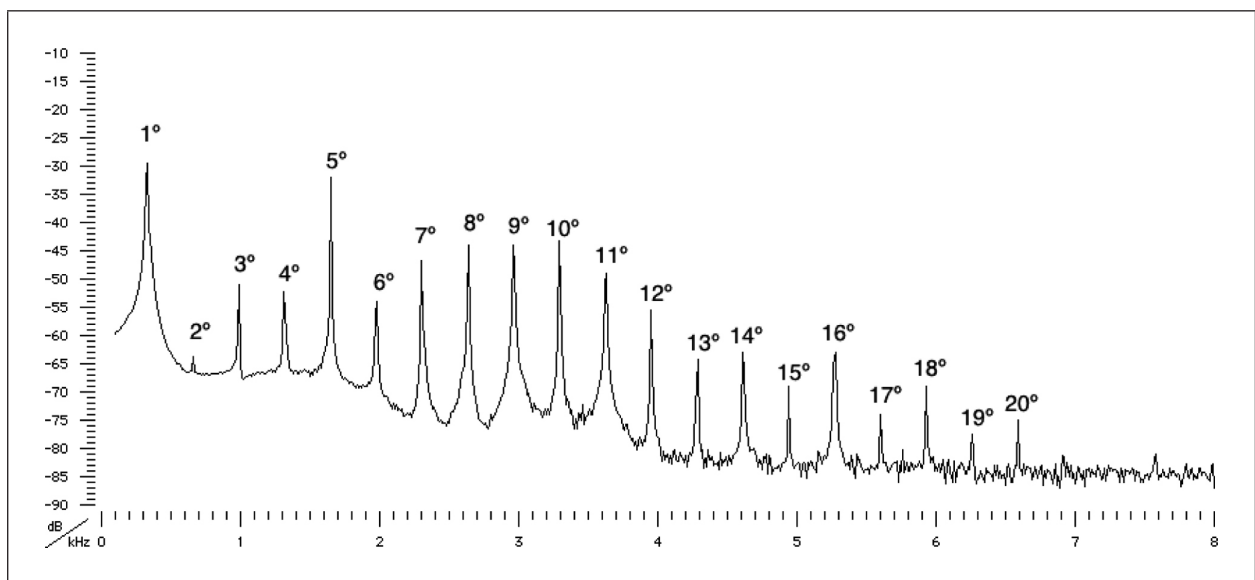


Figura 4: Envelope Espectral do clarinete.

Há também trabalhos que utilizaram o descritor de irregularidade espectral como ferramenta de análise à composição musical. O pesquisador e compositor Luka Mikula (MIKULA, 2008) desenvolveu uma interface de controle de síntese sonora utilizando, dentre outros descritores, a irregularidade espectral. Os pesquisadores Bullock e Conservatoire (BULLOCK & CONSERVATOIRE, 2007) compuseram uma obra para piano e eletrônica, em tempo real, na qual as manipulações e os processamentos sonoros eram extraídos pelos descritores de áudio. Para o particular caso da obra "O azeite, a lua e o rio", utilizou-se o algoritmo implementado por Jensen (JENSEN, 1999), apresentado pela Equação 4:



$$SI_{[n]} = \frac{\sum_{k=1}^{K-1} \{|X_i[k]| - |X_i[K-1]|\}^2}{\sum_{k=1}^{K-1} |X_i[k]|^2} \quad \text{Equação 4}$$

onde  $|X_i[k]|$  representa a magnitude da  $k^{\text{ésima}}$  componente espectral da  $i^{\text{ésima}}$  janela;  $K$  é metade do número de amostras da janela de análise.

### 2.3 Croma Espectral

Utilizamos os conceitos e as definições do descritor Cromo Espectral (o qual será denominado apenas de Cromo no restante do artigo), tais como já apresentados em trabalho anterior (SIMURRA & MANZOLLI, 2015). O Cromo é caracterizado pela distribuição estatística que acumula as magnitudes do espectro de Fourier em bandas fixas de frequência. Essas podem referir-se às classes de alturas da escala cromática. O modelo perceptivo do Cromo baseia-se na pesquisa de Shepard (SHEPARD, 1982), no qual há duas características importantes para o reconhecimento de hierarquias de alturas musicais: a) a configuração rotacional denominada de Cromo ou "Pitch Class", definida como a equivalência das alturas musicais independente do seu registro ou oitava; O algoritmo de análise do Cromo utiliza a ponderação  $\log_2$  para a relacionar-se com a segunda característica b) a equivalência de escala em oitavas e desta forma destacar a contribuição das componentes harmônicas de cada altura musical. Para as 12 notas da escala cromática, os componentes harmônicos são calculados pelo valor inteiro módulo 12 em relação à frequência fundamental. Com isso, os bins  $k$  de uma STFT, como apresentado na Equação 1, são relacionadas com os  $P[k]$  do Cromo da seguinte forma:

$$P_{[k]} = \left[ 12 \log_2 \frac{k}{N} \frac{f_{[sr]}}{f_{[ref]}} \right] \text{mod } 12 \quad \text{Equação 5}$$

onde  $f_{sr}$  = frequência de amostragem,  $f_{ref}$  = frequência de referência à qual, pela convenção desse algoritmo, estabelece o valor de 440 Hz para a classe da nota Lá4. A variável  $N$  refere-se ao tamanho da janela de análise da transformada de Fourier. O valor 12 na Equação 5 está associado às notas da escala cromática. Esse valor deverá ser modificado no caso que outras subdivisões temperadas, como por exemplo: o valor 24 para quarto de tom e 36 para sexto de tom. A partir da Equação 5, são calculados os valores da distribuição do Cromo os quais são dados pela soma das magnitudes de todos os bins de frequência  $P[k]$  que correspondem a cada uma das classes de alturas:

$$Croma_{[j]} = \sum_{k:P(k)=j} |X[k]|^2 \quad \text{Equação 6}$$

onde:  $j$  é o índice relacionado à resolução das classes de alturas. Para semitom  $j = 0, 1, \dots, 11$ , quartos de tom  $j = 0, \dots, 23$  e para sexto de tom  $j = 0, \dots, 35$ . Os valores do somatório variam dentro dos índices determinados pela Equação 5. A Figura 5 apresenta o esquema geral do algoritmo do Croma, segundo o diagrama de Fujishima (FUJISHIMA, 1999):

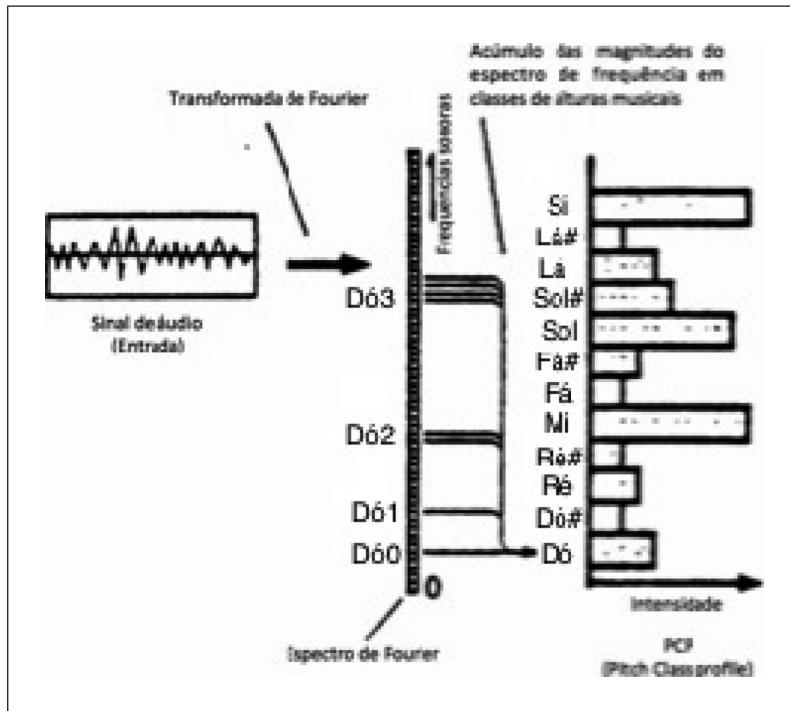


Figura 5: Esquema geral do algoritmo do Croma.

Durante o processo de pesquisa para a realização de *O azeite, a lua e o rio*, as simulações instrumentais, analisadas pelo *Loudness* e pela Irregularidade Espectral também foram analisadas pelo Croma. Tais análises forneceram dados do ponto de vista de alturas musicais, como apresentado nesta Seção 2.3. Utilizamos tais resultados para elaborar as estruturas melódicas e motívicas<sup>3</sup> da obra. As alturas musicais, de maior e menor índices de energia, foram utilizadas em ritmos mais estáticos e articulados, respectivamente. Na Seção 3.3 Transcrição, discutiremos, com mais detalhes, os procedimentos de utilização do Croma no processo de escrita da obra.

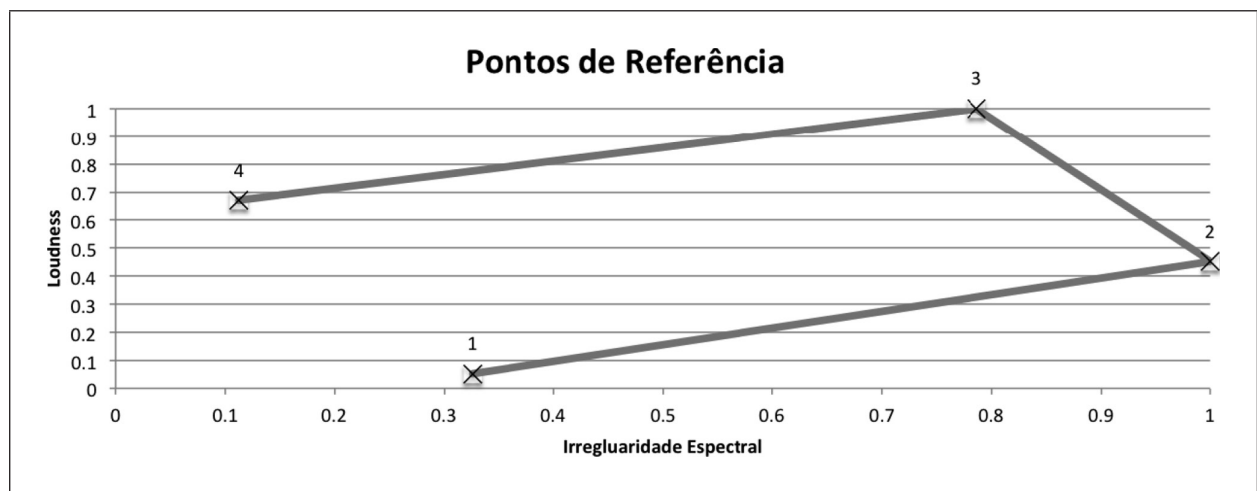
### 3. Etapas do processo composicional

As próximas subseções descrevem as etapas dos procedimentos composicionais elaboradas na obra. Na primeira sessão, descrevemos como construímos os Pontos de Referência e segue a simulação Misturas Sonoras cuja variedade de combinações instrumentais produziram a paleta de opções sonoras utilizadas no processo de transcrição. Como já comentamos na seção anterior, a primeira etapa do planejamento composicional da obra concentrou-se em relacionar as características das sonoridades de partida com dois descritores: Irregularidade Espectral e *Loudness*. Como definido em Brent (BRENT, 2010), utilizamos a Irregularidade Espectral para descrever sonoridades suaves ou aveludados em contraposição com estriadas ou rugosas. No que se refere ao *Loudness*, como mencionado em Cassidy e Smith (CASSIDY & SMITH, 2008), o relacionamos com a percepção de intensidade sonora.

### 3.1 Elaboração dos pontos de referência

Partimos de quatro Pontos de Referência os quais definiram a trajetória inicial da obra por intermédio da manipulação da Irregularidade Espectral e do *Loudness*. Os quatro pontos são os seguintes: **Ponto de Referência 1:** Pequeno *Loudness* e Pequena Irregularidade; **Ponto de Referência 2:** Pequeno *Loudness* e Grande Irregularidade; **Ponto de Referência 3:** Grande *Loudness* e Grande Irregularidade e; **Ponto de Referência 4:** Grande *Loudness* e Pequena Irregularidade. Os Pontos de Referência configuraram-se como os pontos de balizamento da trajetória timbrística da obra. A Tabela 1 ilustra o planejamento estabelecido:

Tabela 1: Pontos de Referência a partir das Sonoridades definidas acima.



Ponto de Referência	Irregularidade	Loudness
1	0.32	0.05
2	1	0.45
3	0.79	1
4	0.11	0.67

Os 04 Pontos de Referência foram realizados empiricamente, em sua essência, a partir do banco de amostras sonoras digitais (BALLET et al., 1999). Nesses experimentos, utilizamos as técnicas instrumentais, altura<sup>4</sup> e dinâmicas musicais para relacioná-las com os Pontos de Referência. Essas são apresentadas na Tabela 2. No Exemplo 1, apresentamos a transcrição dos quatro Pontos de Referência, implementados na escritura de "O azeite, a lua e o rio".

Tabela 2: Tabela com indicações de técnicas de execução, alturas e dinâmicas musicais para os quatro Pontos de Referência de "O azeite, a lua e o rio".

Pontos de Referência	Flauta	Clarinete/Clarone	Violoncelo
1 - menor <i>Loudness</i> e menor irregularidade	Whistle Tone, Fá6, pp	Ordinario, Lá5, pp	Alto Sul Tasto, Si3, pp
2 - menor <i>Loudness</i> e maior irregularidade	Nota + Voz, Fá#4, mf	Aeolian Sound, Si4, pp	Col Legno Tratto, Ré#2, mf
3 - maior <i>Loudness</i> e maior irregularidade	Aeolian Sound + Nota, Lá6, ff	Multifônico, Ré4, mf	Arco Overpressure, Ré2, mf
4 - maior <i>Loudness</i> e menor irregularidade	Senza Vibrato, Fá#4, mf	High Register, Lá6, ff	Alto Sul Ponticello, Ré2, mf

The image displays four musical excerpts labeled a, b, c, and d, each representing a reference point in the score.   
 a) Reference point A: Features a 'whistle tone' in the upper register, marked with *p* and *pp*. The lower part includes a 'sur I' section with *AST - alto sul tasto* and *pp*.   
 b) Reference point F: Includes 'poco Vib.' and 'with voice' markings. Dynamics range from *p* to *mf*. The lower part is marked *pp*.   
 c) Reference point J: Shows a dynamic shift from *mp* to *ff*. Includes 'sur III' and *gliss.* markings.   
 d) Reference point N: Marked 'a tempo' and 'S.V.'. Features 'high register' and 'ASP' markings. Dynamics include *mf* and *ff*.

Exemplo 1: Transcrição dos quatro Pontos de Referência, em “O azeite, a lua e o rio”.

### 3.2 Experimentos - as misturas sonoras

Estabelecidos os 04 Pontos de Referência, o próximo passo concentrou-se em realizar simulações computacionais, para ampliar as possibilidades de combinações instrumentais tomando como ponto de partida as técnicas instrumentais, alturas e dinâmicas musicais, estabelecidas anteriormente nos Pontos de Referência. Da mesma forma, as Misturas Sonoras (MS) foram geradas com registros sonoros digitais de diversos modos de ataque, articulações e técnicas estendidas instrumentais. No total, realizamos 07 simulações com as Misturas Sonoras. As alterações em técnicas estendidas, dinâmicas e alturas musicais foram ponderadas pelos critérios estéticos e pela experiência do próprio compositor. Desta forma, foi possível encontrar outras possibilidades e desenvolver um mecanismo de interpolação entre os Pontos de Referência (PR). Entre os PRs 1 e 2 inserimos mais 04 MS. Entre os PRs 2 e 3, inserimos 01 MS. Por fim, entre os PRs 3 e 4 inserimos mais 02 MS. O diagrama da Figura 6 sintetiza as o processo de interpolação relacionando os PR (1, 2, 3, 4) com os MS (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7).



Figura 6: Diagrama de Bloco do planejamento composicional de “O azeite, a lua e o rio”.

A Tabela 3 apresenta a técnica instrumental, dinâmica e instrumento relacionados com cada Mistura Sonora. No Exemplo 2, apresentamos a transcrição das Misturas Sonoras na partitura de “O azeite, a lua e o rio”.

Tabela 3: Tabela com indicações de técnicas de execução, alturas e dinâmicas musicais para as sete Misturas Sonoras de "O azeite, a lua e o rio".

Misturas Sonoras	Flauta	Clarinete/Clarone	Violoncelo
Mistura Sonora I	Whistle Tone, Fá#6, pp	Ordinario, Lá4, p	Sul Tasto, Ré#3, p
Mistura Sonora I	Nota + Som eólico, Fá5, pp	Frullato, Lá6, mf	Sul Tasto, Tremolo, Si2, mf
Mistura Sonora III	Multifônico, Dó5, mf	Frullato, Ré3, mf	Arco Overpressure, Ré3, mf
Mistura Sonora IV	Nota + Voz, Dó5 + Si5, ff	Multifônico, Sib3, f	Arco Overpressure, Fá#3, mf
Mistura Sonora V	Multifônico, Fá#5, mf	Ordinario, Lá2, f	Sul Ponticello, Dó#5, mf
Mistura Sonora VI	Bisbigliando, Mi5, mf	Frullato, Fá3, ff	Sul Ponticello, Ré#5, ff
Mistura Sonora VII	Ordinario, Fá4, ff	Ordinario, Si2, mf	Harmônico Artificial, Lá#6, mf

a) **B** whistle tone, pp, S.V. ... *p*

b) **C** aeolian sound + note, pp, high register, mf, AST

c) **D** mp, mf

d) **E** with voice, ff, mp, f, mf

e) **H** mf, poco Vibr., ASP, S.V. (*mf*)

f) **M** poco Vibr., mf, ff, mf

g) **M** poco Vibr., mf, ff, mf

Exemplo 2: Excertos das sete Misturas Sonoras, implementadas em "O azeite, a lua e o rio".

### 3.3 Transcrição

Definidas todas as sonoridades da composição, aplicamos um método de transcrição musical relacionado as possibilidades obtidas com as Misturas Sonoras. Para tanto, analisamos as sonoridades dos 04 Pontos de Referência e 07 Misturas Sonoras com o Cromá (vide Seção 2.3). Partimos do princípio que as diversas técnicas estendidas e as misturas instrumentais ressaltam ou inibem a presença de determinadas alturas em função de sua configuração timbrística. Utilizando o histograma com as 12 alturas do Cromá, é possível obter o valor relativo de cada classe de altura. O procedimento é exemplificado a seguir em dois exemplos nos quais utilizamos o Cromá para transcrição melódica e motívica da obra. No primeiro exemplo apresentamos o Cromá da Mistura Sonora I. A Figura 7 apresenta o histograma das 12 classes de alturas, no qual ressaltam-se as notas Fá, Si, Lá, Ré, Sol e Dó:



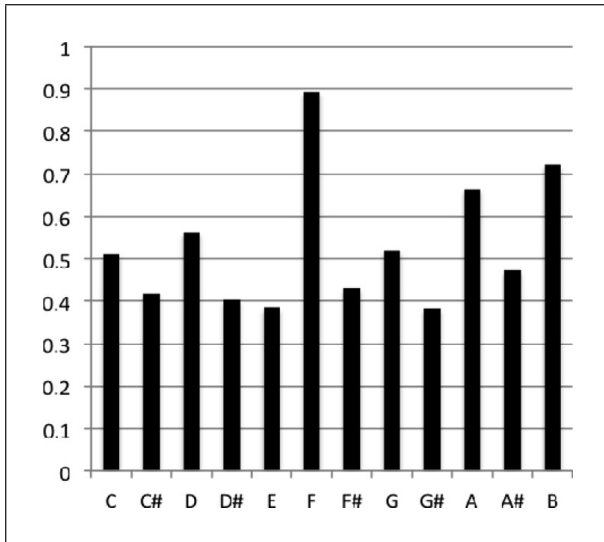


Figura 7: Cromata da Mistura Sonora I.

O excerto, apresentado pelo Exemplo 3 demonstra a aplicação dos dados extraídos do Cromata no desenvolvimento composicional da obra. Observa-se que as notas musicais mais proeminentes, tais como o tetracorde *Si, Ré, Fá, Sol* e *Dó*, assim como as notas com menor índice de energia, como *Sol#* e *Mi*, foram utilizadas em durações mais longas e menos articuladas ritmicamente:

Exemplo 3: Excerto da utilização dos dados no Cromata da Mistura Sonora I.

O outro exemplo é relativo ao Ponto de Referência 3. A Figura 8 apresenta os seguintes dados extraídos do Cromata:

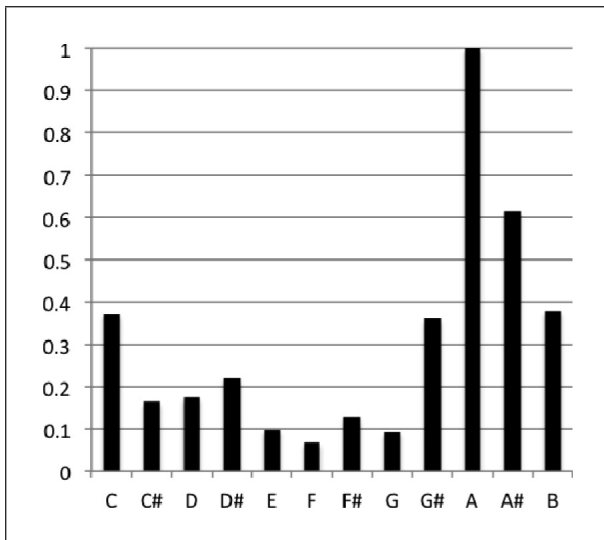


Figura 8: Croma do Ponto de Referência 3.

Da mesma forma, no excerto apresentado pelo Exemplo 4, observa-se que as notas musicais mais proeminentes, tais como *Sol#*, *Lá*, *Lá#*, *Si* e *Dó*, assim como a nota *Fá*, com o menor índice de energia, foram utilizadas em durações mais longas e menos articuladas ritmicamente:

The musical score excerpt shows three staves: Flute (Fl.), B♭ Clarinet (B♭ Cl.), and Violoncello (Vc.). The music is in 5/4 time and features complex rhythmic patterns and dynamics. Key annotations include 'M - any rough and beat multiphonic' for the Flute, 'key tr.' for the Clarinet, and 'AST' for the Cello. Dynamics range from *f* (forte) to *p* (piano). Performance instructions like 'poco a poco' and 'poco Vibr.' are also present.

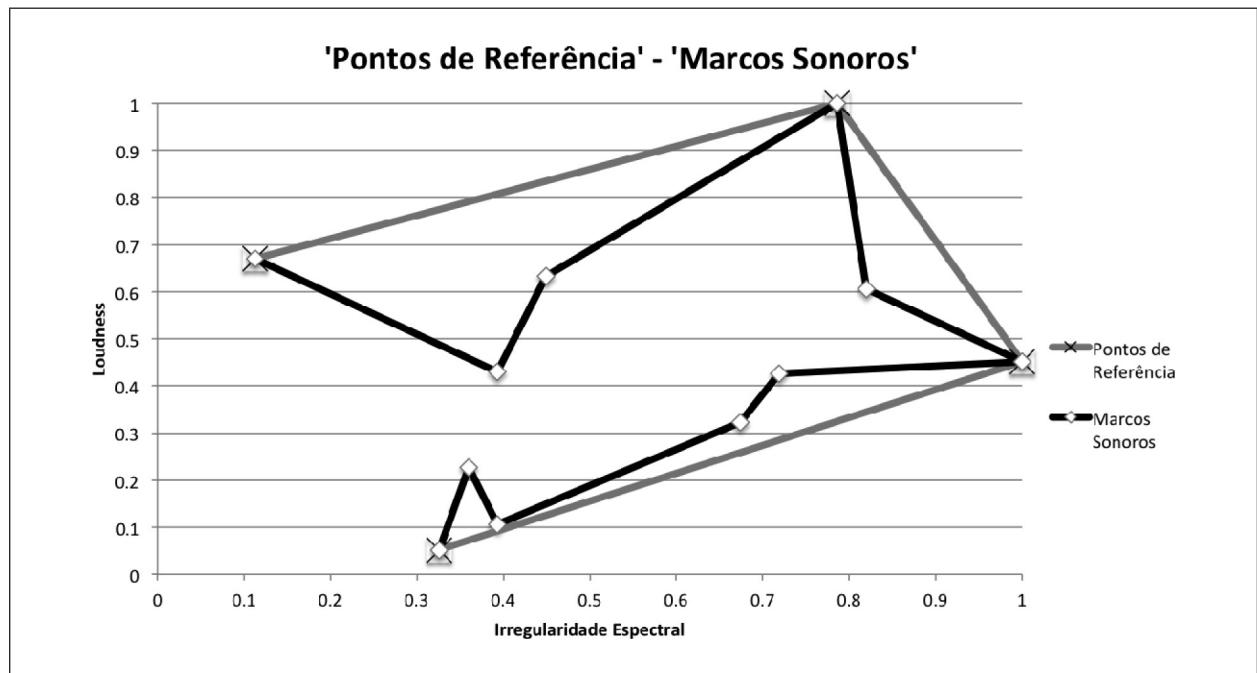
Exemplo 4: Excerto da utilização dos dados do Croma no Ponto de Referência 1.

Ao determinar o material melódico, a partir do Croma, estabelecemos a coesão do resultado composicional da obra com as sonoridades estipuladas pelos descritores de irregularidade espectral e *Loudness*. Na Seção 4, discutimos a variedade de informações musicais, como as técnicas estendidas e as respectivas dinâmicas associadas aos dados descritores de áudio.

#### 4. Discussão

O artigo apresentou uma metodologia para orquestração assistida por computador na qual descrições de alto nível foram relacionadas à execução instrumental para caracterizar, via descritores de áudio, duas tipologias de sonoridades: sons lisos ou rugosos e diferentes intensidades sonoras, respectivamente relacionados, aos descritores *Loudness* e Irregularidade espectral. Posteriormente, analisamos cada um dos 04 Pontos de Referência e das 07 Misturas Sonoras com o descritor Croma, com a quais elaboramos as estruturas melódicas da obra. Para análise dessa Seção, todos os dados coletados foram normalizados no intervalo [0, ..., 1]. Como apresentados na Seção 3.2, elaboramos quatro sonoridades estruturais, às quais denominou-se como Pontos de Referência. A Seção 3.3 apresentou as etapas à elaboração de experimentos sonoros, denominados como Misturas Sonoras. Tais sonoridades interpolaram os Pontos de Referência. A Tabela 4, apresenta o gráfico com a trajetória dos PR's, representados pela linha cinza, e das MS's, representadas pela linha preta.

Tabela 4: Gráfico com a trajetória dos Pontos de Referência e das Misturas Sonoras.



Sonoridades	Pontos de Referência		Misturas Sonoras	
	Irregularidade	<i>Loudness</i>	Irregularidade	<i>Loudness</i>
1	0.32	0.05	0.032	0.05
2	0.36	0.07	0.36	0.22
3	0.39	0.09	0.39	0.11
4	0.67	0.26	0.67	0.32
5	0.72	0.29	0.72	0.32
6	1	0.45	1	0.45
7	0.94	0.61	0.82	0.61
8	0.79	1	0.79	1
9	0.45	0.83	0.45	0.63
10	0.39	0.80	0.39	0.43
11	0.11	0.67	0.11	0.67

Tanto a Tabela 2 quanto a Tabela 3 demonstraram como as técnicas instrumentais, as alturas e as dinâmicas musicais relacionam-se com as características timbrísticas extraídas com os descritores de áudio. A Tabela 5, sintetiza as informações simbólicas de todas as sonoridades implementadas na obra:

Tabela 5: Tabela com todas as sonoridades implementadas em “O azeite, a lua e o rio”.

Sonoridades	Flauta	Clarinete/Clarone	Violoncelo
1 - Ponto de Referência 1	Whistle Tone, Fá6, pp	Ordinario, Lá5, pp	Alto Sul Tasto, Si3, pp
2 - Mistura Sonora I	Whistle Tone, Fá#6, pp	Ordinario, Lá4, p	Alto Sul Tasto, Ré#3, p
3 - Mistura Sonora II	Nota + Som eólico, Fá5, pp	Frullato, Lá6, mf	Alto Sul Tasto, Tremolo, Si2, mf
4 - Mistura Sonora III	Multifônico, Dó5, mf	Frullato, Ré3, mf	Arco Overpressure, Ré3, mf
5 - Mistura Sonora IV	Nota + Voz, Dó5 + Si5, ff	Multifônico, Sib3, f	Arco Overpressure, Fá#3, mf
6 - Ponto de Referência 2	Nota + Voz, Fá#4, mf	Aeolian Sound, Si4, pp	Col Legno Tratto, Ré#2, mf
7 - Mistura Sonora V	Multifônico, Fá#5, mf	Ordinario, Lá2, f	Alto Sul Ponticello, Dó#5, mf
8 - Ponto de Referência 3	Aeolian Sound + Nota, Lá6, ff	Multifônico, Ré4, mf	Arco Overpressure, Ré2, mf
9 - Mistura Sonora VI	Bisbigliando, Mi5, mf	Frullato, Fá3, ff	Alto Sul Ponticello, Ré#5, ff
10 - Mistura Sonora VII	Ordinario, Fá4, ff	Ordinario, Si2, mf	Harmônico Artificial, Lá#6, mf
11 - Ponto de Referência 4	Senza Vibrato, Fá#4, mf	High Register, Lá6, ff	Alto Sul Ponticello, Ré2, mf

Às próximas subseções, discutiremos os resultados obtidos com a metodologia aplicada em “O azeite, a lua e o rio”.

#### 4.1 As sonoridades a partir do Loudness

Com relação ao Loudness, a obra inicia-se com sonoridades de menor intensidade e termina em sonoridades de maior intensidade. A Figura 9, descreve a variação do Loudness arquitetada na obra. Como planejado inicialmente, seu clímax localiza-se no Ponto de Referência 3.

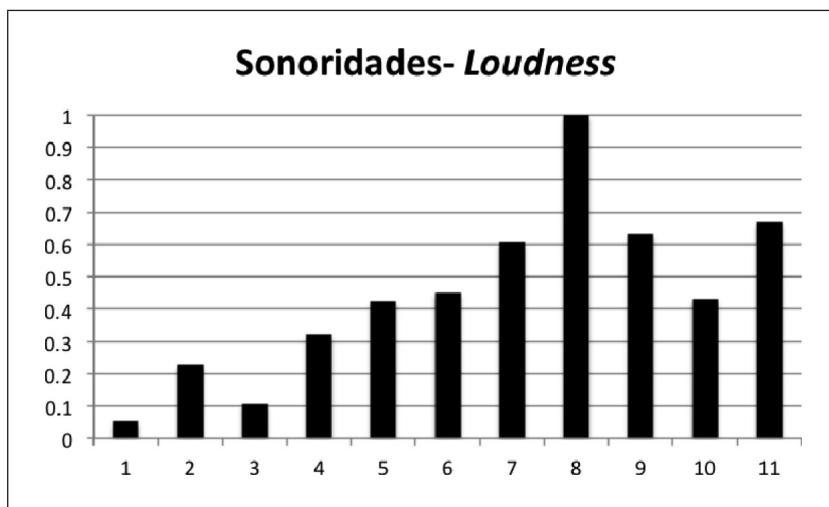


Figura 9: Análise de Loudness de cada sonoridade em “O azeite, a lua e o rio”. As 11 barras do histograma estão associadas aos 4 Pontos de Referência e às 7 Misturas Sonoras.

Para detalhar a variação de *Loudness* no resultado timbrístico da obra, a Mistura Sonora IV, representada pela quinta barra da Figura 9, possui a seguinte configuração instrumental: flauta executando as notas *Dó5* e *Sol5*, em dinâmica musical *fortissimo*. O Ponto de Referência 3, o qual apresenta o maior índice de *Loudness*, a flauta desenvolve-se em uma região mais aguda, *Lá6* mas com a mesma dinâmica musical da Mistura Sonora IV, *fortissimo*. Para a percepção de igual intensidade, em todas as regiões do espectro de frequência, será necessário um aumento de energia nas regiões extremas, tanto as mais graves quanto as mais agudas. Como destacado na Seção 2.3, a curva Fletcher e Munson mostra que a percepção de intensidade varia com as frequências, sons complexos, tais como os produzidos pela mistura de instrumentos musicais, alteram tanto a percepção de intensidade quanto à percepção de suas características espectrais.

#### 4.2 As sonoridades a partir da irregularidade espectral

O planejamento composicional da obra inicia-se e encerra-se com sonoridades aveludadas. O seu clímax localiza-se no Ponto de Referência 2, no qual atinge o maior índice de irregularidade, resultante na percepção subjetiva de sonoridades rugosas. A Figura 10 demonstra o comportamento de cada sonoridade a partir do ponto de vista do descritor.

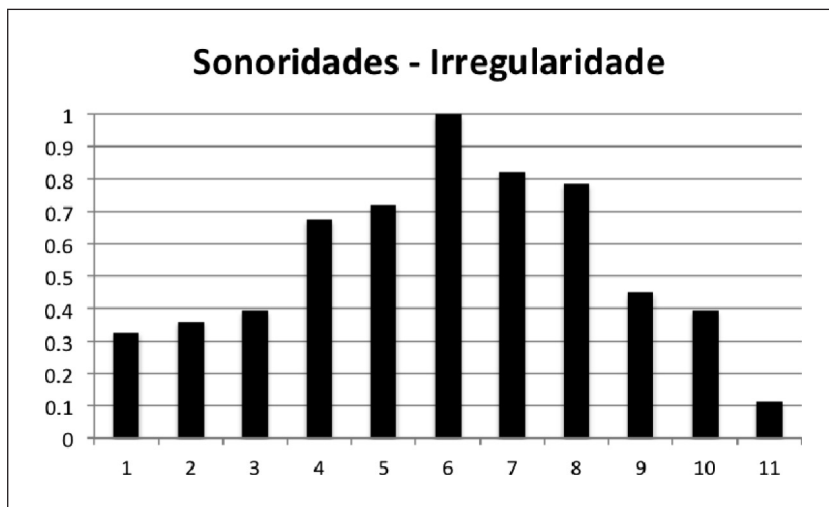


Figura 10: Histograma com os dados das análises do descritor de irregularidade espectral.

Relacionamos a Tabela 5 com o histograma da Figura 10. Nas sonoridades iniciais e finais, de 1 a 3 e de 9 a 11, respectivamente, percebe-se a presença de determinadas técnicas instrumentais, de cuja percepção resulta em sonoridades aveludadas e delicadas. Essas, referem-se aos “*bisbigliandos*” e aos “*whistle tones*”, nas madeiras e aos arcos em “*sul tasto*” e em “*sul ponticello*”, no violoncelo. Já o intervalo compreendendo as sonoridades 4 e 8, indica a correlação entre o índice de irregularidade e a presença de determinadas técnicas estendidas, de cuja resultante relaciona-se com a presença de ruído sonoro instrumental. As técnicas utilizadas referem-se, principalmente, aos “*multifônicos*”, nas madeiras, e na técnica de “*bowing overpressure*” ou “*forte pressão de arco*”, no violoncelo. Apresentamos, no Exemplo 5, as técnicas utilizadas para controlar e alterar o timbre instrumental, de acordo com as características descritas anteriormente.



Exemplo 5: Transcrição de três sonoridades com diferentes índices de irregularidade: a) Irregularidade Baixa; b) Irregularidade Alta e; c) Irregularidade Baixa.

Do ponto de vista de cada descritor de áudio, destacamos, no histograma de análise de *Loudness*, Figura 9, uma variação crescente até a sonoridade 08. Em contrapartida, o histograma de análise da irregularidade espectral, Figura 10, apresenta uma curva de cujo ápice localiza-se na sonoridade 06.

### 4.3 Polarizações e o Croma

Como descrito na subseção 3.4, utilizamos as informações do descritor de áudio Croma para elaborar as estruturas melódicas de “*O azeite, a lua e o rio*”. As alturas musicais com maiores índices de energia, assim como as alturas com menores índices foram dispostas com maior destaque na obra. Tais estruturas, derivadas a partir da análise do Croma, interpolaram as sonoridades implementadas na obra. O diagrama da Figura 11 apresenta o fluxo das quatro primeiras etapas do planejamento composicional, relacionando as sonoridades com o Croma espectral:

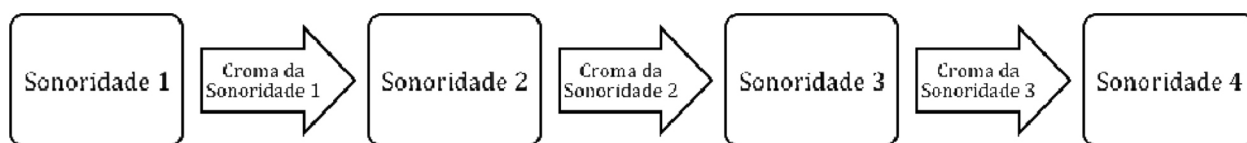


Figura 11: Diagrama de Bloco das quatro primeiras etapas do planejamento composicional, relacionando as Sonoridades com os dados extraídos pelo Croma.

Posteriormente, analisamos todas as sonoridades, do ponto de vista do Croma. Tal procedimento revelou a pertinência de cada altura musical na construção timbrística de cada uma. Elaboramos a Tabela 6 associando os valores extraídos do croma para cada uma das 12 classes de alturas das 11 sonoridades. As gradações associadas aos quadros brancos e pretos, indicam os valores da pertinência de cada classe de altura. Os valores foram normalizados no intervalo [0, ..., 1]. A variação de cinza está associada respectivamente ao valor mínimo “zero” para quadros pretos e o valor máximo “um” para quadros brancos.

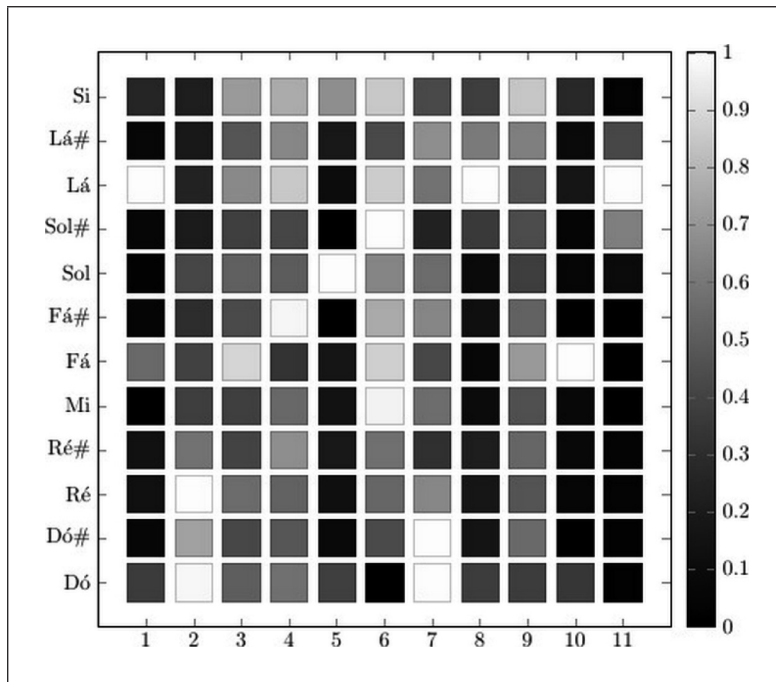


Tabela 6: Tabela com o Croma das 11 sonoridades. As linhas são associadas às classes de altura e as colunas às sonoridades.

Num segundo momento de análise, podemos descrever a média de energia acumulada nas 12 classes de altura do Croma. Com tal procedimento, teremos uma ideia global de como os componentes espectrais estão correlacionados na obra. Calculamos o valor da média de cada classe de altura, com relação a todas as sonoridades utilizadas na obra. O histograma da Figura 12, apresenta o resultado.

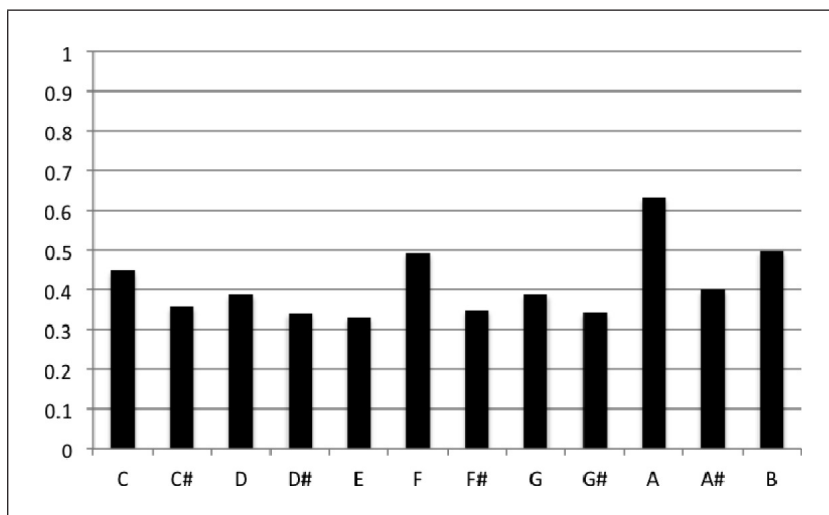


Figura 12: Histograma com a média das magnitudes das classes de altura de "O azeite, a lua e o rio".

Apesar da Tabela 4 indicar, para cada sonoridade, diferentes alturas musicais com maior índice de energia, o valor da média apresentado na Figura 12 revela uma polarização do tetracorde *Fá, Lá, Si e Dó* ou o acorde de *Fá Maior com Quarta Aumentada*. Ao utilizar-se o descritor Croma no processo composicional, relacionou-se as classes de alturas com as técnicas estendidas. Criou-se uma relação direta do conteúdo do espectro sonoro com as representações simbólicas utilizadas na transcrição da partitura. A paleta sonora foi ampliada com as técnicas de execução contrastantes, como nas regiões graves e agudas, e com

as diversas possibilidades de inserção de sons não idiomáticos dos instrumentos musicais. O procedimento utilizado revela-se uma alternativa consistente para elencar os dados espectrais, intrínsecos às características timbrísticas regidas pelo *Loudness* e pela irregularidade, com a trajetória harmônica e melódica da obra. Adotou-se, portanto, um método no qual os descritores de áudio participaram ativamente e de maneira fundamental junto às estruturas formais, ao longo de toda a obra.

## Conclusão

Apresentamos um estudo sobre a aplicação de Descritores de Áudio em orquestração assistida por computador, visando a composição de uma obra para flauta, clarinete/clarone e violoncelo. A motivação de "*O azeite, a lua e o rio – numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho*" concentra-se no estudo de técnicas MIR como ferramenta para criação musical. Tal abordagem integra a pesquisa de doutorado, em desenvolvimento, no NICS/UNICAMP. A metodologia, aqui apresentada, versou sobre o planejamento de sonoridades, de cuja característica mais proeminente consiste em transformações timbrísticas, às quais foram ancoradas em três descritores de áudio: *Loudness* e Irregularidade Espectral e Cromática Espectral. Assim, partindo de dois universos: as técnicas de execução instrumental estendidas e os descritores de áudio, propriamente ditos, desenvolvemos um método para auxiliar o compositor a relacionar descrições de alto nível com modos específicos de execução instrumental estendida. De uma maneira sucinta e generalizada, o trabalho relacionou o Modelo Composicional, previamente estabelecido e apresentado na Seção 2 com a Seção 5, acerca da análise e Discussão dos resultados obtidos. A partir da utilização do *Loudness*, conseguimos analisar diversos materiais sonoros e obter resultados com os quais se relacionam com sonoridades de menor e maior intensidade. Os parâmetros musicais mais correlacionados com as mudanças de *Loudness* são as regiões de oitava com a qual cada nota é executada e as dinâmicas musicais, como por exemplo *pp*, *p*, *mp*, *mf*, *f*, *ff*, etc. De acordo com a análise a partir da irregularidade espectral, podemos verificar que as diferentes técnicas de execução musical alteram a percepção timbrística de cada sonoridade analisada. Técnicas instrumentais às quais caracterizam-se pela inserção de ruído instrumental tendem a se relacionar com sonoridades rugosas e estriadas. Inversamente, para sonoridades aveludadas e lisas, utiliza-se determinadas técnicas instrumentais para resultar em sonoridade mais limpas e claras, como *whistle tones*, nas flautas. Na análise utilizando o Cromático Espectral, verificamos a polarização do tetracorde *Fá, Lá, Si, Dó*, o qual foi a base da estrutura melódica da obra. Utilizamos os resultados das análises extraídas do Cromático, de cada sonoridade, para elaborar a escritura composicional da obra. Ao restringir as construções melódicas, a partir dos resultados do Cromático, tivemos maior liberdade criativa e estética para elaborar o desenvolvimento composicional da obra. O trabalho apresentado relaciona-se diretamente com a pesquisa iniciada em (SIMURRA & MANZOLLI, 2015), na qual propôs-se em criar novos estudos composicionais, do ponto de vista de sonoridades particulares, a partir da análise de dados objetivos de diferentes técnicas estendidas instrumentais. Concluímos que os métodos utilizados para a elaboração dos materiais composicionais nos dois Diários de Bordo, são inovadores e de grande interesse para a comunidade especializada na área de composição musical de cujo foco concentra-se no timbre musical. O trabalho de pesquisa possibilitou o diálogo da análise formal e estatística do fenômeno sonoro com as definições conceituais, estéticas e subjetivas com as quais o compositor pode se utilizar para o seu processo de composição e escritura musical. Não obstante, pretendemos ampliar e dar continuidade

ao estudo em duas direções: a) continuar criando novos estudos composicionais nos quais possamos explorar outras sonoridades e b) ampliar a análise dos resultados utilizando também os Descritores de Áudio.

## Notas

- <sup>1</sup> Para mais informações, acessar: <http://ismir2013.ismir.net/accepted-music-works/>. Data de acesso: 18/12/2015
- <sup>2</sup> O primeiro artigo da série discutiu os métodos e as estratégias composicionais da obra "Lana Tai – no dia em que nasceu uma aquarela". Para mais informações, ver (SIMURRA & MANZOLLI, 2015)
- <sup>3</sup> Em Música, o termo "motivo" indica uma unidade musical melódica ou rítmica que reaparece no decorrer da composição. É um fragmento recorrente, perceptível ou saliente. Uma sucessão de notas das quais podem ser utilizadas para construir melodias ou temas.
- <sup>4</sup> Utilizamos a convenção de notação de cujo número associado com a nota musical relaciona-se com a sua posição, organizada em oitavas musicais. Pela convenção, a nota D<sub>4</sub>, de frequência sonora igual a ~261Hz, é escrita na primeira linha complementar inferior na clave de sol.

## Referências

- BALLET, Guillaume; BORGHESI, Ricardo; HOFFMANN, Peter; LÉVY, Fabien. Studio online 3.0: An internet "killer application" for remote access to ircam sounds and processing tools. *Journée d'Informatique Musicale*, 1999, CEMAMU - Centre de Mathématique et Automatique Musicales, Paris, p. 123-132.
- BARRIÈRE, Jean-Baptiste. *Le Timbre: métaphore pour la composition*. Christian Bourgois Ed., 1991, 563 p.
- BARTSCH, Mark; WAKEFIELD, Gregory. *To catch a chorus: Using chroma-based representations for audio thumbnailing. Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, 2001 IEEE Workshop on the*. IEEE, 2001. Disponível em: <<https://www.ee.columbia.edu/~dpwe/papers/BartW01-chorus.pdf>>. Acesso em: 12 fev 2016.
- BOULANGER-LEWANDOWSKI, Nicolas; BENGIO, Yoshua; VINCENT, Pascal. Audio chord recognition with recurrent neural networks. In *ISMIR*, pages 335-340, 2013. Disponível em: <[http://ismir2013.ismir.net/wp-content/uploads/2013/09/243\\_Paper.pdf](http://ismir2013.ismir.net/wp-content/uploads/2013/09/243_Paper.pdf)>. Acesso em: 12 fev 2016.
- BRENT, William. *Physical and perceptual aspects of percussive timbre*, 2010, PhD Thesis, University of California, 2011, 174 p.
- BULLOCK, Jamie. *Implementing audio feature extraction in live electronic music*. PhD thesis, University of Birmingham, 2008. 260 p.
- BULLOCK, Jamie. Libxtract: A lightweight library for audio feature extraction. In *Proceedings of the ICMC*, volume 43, 2007. Disponível em: <<http://quod.lib.umich.edu/cgi/p/pod/dod-idx/libxtract-a-lightweight-library-for-audio-feature-extraction.pdf?c=icmc;idno=bbp2372.2007.116>>. Acesso em: 12 fev 2016.
- BYRD, Donald; FINGERHUT, Michael. The history of ismir—a short happy tale. *D-Lib Magazine*, v. 8, No. 11, 2002. Disponível em: <<http://www.ismir.net/texts/Byrd02.html>>. Acesso em: 12 fev 2016.
- CASSIDY, Ryan; SMITH, Julius. O. *Psychoacoustics lab activity*, 2008. Disponível em: <<https://ccrma.stanford.edu/~jos/psychoacoustics/psychoacoustics.pdf>>. Acesso em: 12 fev 2016.

COLLINS, Nick. An automated event analysis system with compositional applications. In *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC)*, 2005, Barcelona, Espanha, p 1-4.

EINBOND, Aaron. *Composer as curator: Uncreativity in recent electroacoustic music, EMS14 – Electroacoustic Music Beyond Concert Performance, Berlin*. 2005. p. 1-7. Disponível em: <[http://www.ems-network.org/IMG/pdf\\_EMS14\\_einbond.pdf](http://www.ems-network.org/IMG/pdf_EMS14_einbond.pdf)>. Acesso em: 12 fev 2016.

FLETCHER, Harvey; MUNSON, Wilden. Loudness, its definition, measurement and calculation. *Bell System Technical Journal*, v. 12, Issue 4, 1933, p. 377-430.

FLORENTINE, Mary; BONDING, Per. Loudness of complex sounds as a function of the standard stimulus and the number of components. *Acoustical Society of America Journal*, 1978. Disponível em: <<http://orbit.dtu.dk/files/3569838/Buus.pdf>>. Acesso em: 12 fev 2016.

FUJISHIMA, Takuya. Realtime chord recognition of musical sound: A system using common lisp music. In *Proc. ICMC*, Quebec, Canada, 1999, p. 464-467.

GUIGUE, Didier. *Estética da sonoridade: a herança de Debussy na música para piano do século XX*. Editora Perspectiva, 1 Ed., 2011, 424 p.

JENSEN, Kristoffer. *Timbre models of musical sounds*. PhD thesis, Department of Computer Science, University of Copenhagen, 1999. 248 p.

KRIMPHOFF, Jochen; McADAMS, Stephen; WINSBERG, Suzanne. Caractérisation du timbre des sons complexes. analyses acoustiques et quantification psychophysique. *Le Journal de Physique IV*, 1994. p. 1-5. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00252811/document>>. Acesso em: 12 fev 2016.

MAUCH, Matthias; FUJIHARA, Hiromasa; YOSHII, Kazuyoshi; GOTO, Masataka. Timbre and melody features for the recognition of vocal activity and instrumental solos in polyphonic music. In *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Society for Music Information Retrieval - ISMIR*, 2011, p. 233-238.

MIKULA, Luka. *Concatenative music composition based on recontextualisation utilising rhythm-synchronous feature extraction*, PhD Thesis, Institute of Electronic Music and Acoustics, University of Music and Dramatic Arts, Graz, Austria, 2008. 163 p.

MIŚKIEWICZ, Andrej; RAKOWSKI, Andrej. Loudness level versus sound-pressure level: A comparison of musical instruments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 96, Issue 6, 1994. p. 3375-3379.

MONTEIRO, Adriano. *Criação e performance musical no contexto dos instrumentos musicais digitais*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Campinas – UNICAMP, 2012. 159 p.

OPPENHEIM, Alan; SCHAFER, Ronalde; BUCK, John. *Discrete-time signal processing*, v. 2. 3. ed. Prentice-hall Englewood Cliffs, 1989. 1120 p.

PEREIRA, Erica. *Estudos sobre uma ferramenta de classificação musical*. Campinas, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação. Universidade Estadual de Campinas, 2009. 65 p.

PLOMP, Reinier. *The intelligent ear: On the nature of sound perception*. Psychology Press, 2001. 184 p.

RAFII, Zafar; PARDO, Bryan. Music/voice separation using the similarity matrix. In *International Society for Music Information Retrieval*, 13, Porto Portugal, 2012. p. 583-588. Disponível em: <<http://music.cs.northwestern.edu/publications/Rafii-Pardo%20-%20Music-Voice%20Se>



paration%20using%20the%20Similarity%20Matrix%20-%20ISMIR%202012.pdf>. Acesso em: 12 fev 2016.

RIMOLDI, Gabriel. *Modelagem interativa aplicada à síntese e espacialização no domínio micro-temporal*. Master's thesis, Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora. Universidade Estadual Campinas – UNICAMP, 2012. 121 p.

ROADS, Curtis. *Microsound*. MIT press. 1 Ed., 2004. 424 p.

SCOTT, Jeffrey; Kim, Youngmoo. Instrument identification informed multi-track mixing. In International Society for Music Information Retrieval, 14, Curitiba, Brazil, *ISMIR*, 2013, p. 305-310.

SHEH, Alexander; ELLIS, Daniel. Chord segmentation and recognition using em-trained hidden markov models. In International Society for Music Information Retrieval, *ISMIR*, 4, Washington, USA, 2003, p. 185-191.

SHEPARD, Roger. Structural representations of musical pitch. *The psychology of music*, 1. ed. Swets & Zeitlinger, 1982, p. 343-390.

SOLOMOS, Makis. *De la musique au son: l'émergence du son dans la musique des XIXe-XXIe siècles*. 1. ed. Presses universitaires de Rennes, 2013. 1287 p.

THEODORIDIS, Sergios; KOUTROUMBAS, Kostantinos. *Pattern Recognition*. Academic press, 3. ed. 2009. 967 p.

THIEDE, Thilo. *Perceptual Audio Quality Assessment Using a Non-linear Filter Bank: Gehrbezogene Qualitätseinschätzung von Audiosignalen unter Verwendung einer Nichtlinearen Filterbank*. Mensch-&-Buch-Verlag, Berlin, 1999. 167p. Disponível em: <<http://www.mp3-tech.org/programmer/docs/scriptHF021.pdf>>. Acesso em: 12 fev 2016.

ZWICKER, Eberhard; SCHARF, Bertham. A model of loudness summation. *Psychological Review*, v. 72, n. 3, p. 3-26, 1965.

---

**Ivan Eiji Simurra** - Compositor e pesquisador, realiza manipulações eletrônicas em Música Pop (DJ). Bacharel em Composição Musical e Mestre em Processos Criativos no Instituto de Artes - IA/UNICAMP, com o financiamento da FAPESP e CAPES - FAPESP, respectivamente. Atualmente, desenvolve sua pesquisa de doutorado em Processos Criativos no IA/UNICAMP e Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora - NICS/UNICAMP, com o financiamento da FAPESP e sob a orientação do Prof. Dr. Jônatas Manzolli. A pesquisa de doutoramento desenvolve-se sob o título: "Composição Musical com o suporte de descritores de áudio". Professor de Harmonia, Teoria, Estruturação e Composição Musical, desenvolve projetos relacionados com composição de música instrumental, ciência, tecnologia e análise musical com auxílio do computador. Participou de diversos festivais, masterclasses e workshops. Obteve prêmios por suas composições durante a Bienal de Música Brasileira Contemporânea – FUNARTE e no III Concurso Internacional de Composição Musical, em Tomsk/Rússia. Ademais, suas obras são executadas no Brasil, Argentina, Chile, Estados Unidos, Israel e Rússia.

**Jônatas Manzolli** - Graduado em Matemática Aplicada Computacional (1983) e em Composição e Regência (1987) e é mestre em Matemática Aplicada (1988) ambos pela Uncamp. Desenvolveu seu doutorado (PhD) na University of Nottingham (1993) sobre Composição Musical. Atualmente é Professor Titular do Instituto de Artes da Unicamp e Coordenador do Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora (NICS). Compositor e matemático, pesquisa a interação entre Arte e Tecnologia em criação musical, computação musical e ciências cognitivas. Atua no programa de pós-graduação em Música com ênfase em Processos Criativos e Fundamentos Teóricos em Música e Tecnologia. Suas publicações focam, principalmente, os seguintes temas: composição musical, síntese de som, auto-organização e criatividade sonora, ambientes interativos para composição, modelos matemáticos e computação evolutiva aplicados a processos sonoros. Sua produção artística relaciona música instrumental, eletroacústica, obras multimídia para dança e instalações sonoras.

---