



A utilização de descritores de áudio à análise e composição musical assistidas por computador: um estudo de caso na obra “*Labori Ruinae*”

MODALIDADE: COMUNICAÇÃO

Ivan Eiji Simurra

Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora – NICS/UNICAMP – ieysimurra@nics.unicamp.br

Resumo: O artigo descreve uma estratégia de composição que integra a análise de conteúdo espectral via descritores de áudio no processo composicional. O procedimento foi aplicado na elaboração da obra "*Labori Ruinae*", para conjunto de câmara (2014). A partir de um banco de dados de amostras de áudio, foram conduzidos vários experimentos de análise a uma variedade de configurações orquestrais que utilizam técnicas instrumentais estendidas. A pesquisa ratifica a aplicação de novas tecnologias computacionais tanto no processo criativo quanto em análise musical.

Palavras-chave: Composição. Composição assistida por computador. Timbre. Análise musical. Descritores de áudio.

Title of the Paper in English The Use Of Audio Descriptors For Computer-Aided Music Composition and Analysis: A Case Study From “*Labori Ruinae*”

Abstract: This document describes a compositional strategy that integrates spectral content analysis via audio descriptors to the writing process. The procedure was applied to the elaboration of the composition "*Labori Ruinae*", for chamber music (2014). Starting from a sample database, various experiments were conducted in order to analyze a variety of orchestral configurations that make use of extended instrumental techniques. The paper confirms the applicability of new technologies in both the creative process and musical analysis.

Keywords: Composition. Computer-aided music composition. Timbre. Analysis. Audio descriptors

1. Introdução

No decorrer do período Tonal da História da Música, de cujo clímax localiza-se na transição do século XIX para o século XX, o timbre era considerado uma resultante ou um produto, de segunda ordem, dos processos composicionais vigentes até então. A abordagem mais proeminente de tal questão dialogava com os aspectos intuitivos de orquestração e “equilíbrio timbrístico” em conjuntos instrumentais (BERLIOZ, 1844 e RIMSKY-KORSAKOV, 1922). Contudo, ao longo do percurso do século XX, a problemática do timbre torna-se cada vez mais evidente e importante. Pierre Boulez discute a função do timbre na música instrumental do século XX e a iminente colaboração dos avanços tecnológicos acerca da orquestração musical (BOULEZ, 1985).



Do ponto de vista objetivo da análise sonora, a partir de timbre, a área de desenvolvimento científico relacionada com a Computação Musical, desenvolve 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, 2014), 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 “*Labori Ruinae*”, para flauta/piccolo; clarinete/clarone; violino; viola; violoncelo; vibrafone e piano. A obra, resultado de uma encomenda junto ao conjunto de câmara *Meitar Ensemble*, foi executada em 2014, durante o *Contemporary Encounters I*, evento realizado na cidade de Tel Aviv/Israel, no *Israeli Conservatory of Music*.

O projeto composicional de “*Labori Ruinae*”, ao qual atrela-se a exploração do seu próprio material timbrístico, relaciona-se diretamente com o ponto de vista teórico apresentado pelo musicólogo Makis 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 (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. No nosso particular trabalho de composição, a estrutura formal da obra centrou-se na transformação gradual, do ponto de vista espectral, de cinco pares de sonoridades, previamente estabelecidas. Cada sonoridade foi descrita a partir das características definidas por um vetor de seis descritores de áudio. Interpolamos cada par de sonoridade a partir do seu grau de dissimilaridade, em ordem crescente. Iniciamos a obra com o par de sonoridades de menor índice de dissimilaridade. Consequentemente, a obra encerra-se com o par de maior índice. Medimos a dissimilaridade dos pares por intermédio da distância euclidiana das sonoridades participantes. Nas próximas seções, elucidamos o nosso modelo composicional, apresentando os seus objetivos principais (Seção 2). A seguir,



XXV Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música – Vitória – 2015 contextualizamos a utilização dos descritores de áudio junto ao planejamento, à análise e à composição das sonoridades (Seção 3). Na Seção 4, descrevemos o método utilizado para a criação da obra e discutimos os dados coletados, a partir das análises das sonoridades. Na Seção 5, concluímos o artigo, apresentando as considerações finais e as projeções futuras.

2. Modelo Composicional

O conceito composicional de “*Labori Ruinae*” centrou-se nas particularidades contrastantes de um total de dez variações de sonoridades, a partir dos dados analisados por um vetor de características de conteúdo espectral. Estas, foram estabelecidas a partir de seis descritores de áudio, as quais serão discutidas na Seção 3: Centroide Espectral, Obliquidade Espectral, Razão entre Componentes Espectrais Ímpares e Pares, Irregularidade Espectral, Decaimento Espectral e Centroide Temporal. A variação de índice de cada descritor relaciona-se com a alteração da informação musical. A nossa proposição considera a relação direta entre os dados objetivos de análise com tais alterações, principalmente, àquelas relacionadas com as técnicas estendidas instrumentais. Na próxima Seção 3, a seguir, apresentaremos os descritores de áudio utilizados para estabelecer o vetor de características de cada variação de sonoridade.

3. 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. Os descritores de áudio são ferramentas úteis para criar uma taxonomia de características do conteúdo espectral do sinal musical. Essas podem ser correlacionadas e, não necessariamente, equivalentes a atributos subjetivos da percepção sonora, tais como “brilho”, “opacidade”, “rugosidade”, “ruidosidade”, “maciez”, dentre outros.

Realizamos um levantamento de referências bibliográficas às quais nos auxiliaram no processo composicional da obra. THEODORIDIS (2009) relaciona o descritor denominado Centroide Espectral com a variação entre brilho e opacidade do som. BRENT (2010) associa rugosidade e maciez com o descritor denominado Irregularidade Espectral. No que refere-se ao descritor de Obliquidade Espectral, DUBNOV (2004) o relaciona com a ruidosidade e a tonalidade do sinal analisado. Já o descritor que analisa a razão entre os



XXV Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música – Vitória – 2015

componentes espectrais ímpares e pares é associado por PEETERS (2004), para identificar sonoridades distintas, tais como instrumentos de madeira e de metal. O descritor de áudio de Decaimento Espectral é relacionado por MALT e JOURDAN (2008) como uma medida para analisar sons percussivos e sons musicais, no âmbito da energia das componentes espectrais. Por fim, o Centroide Temporal é associado por GOUYON e HERRERA (2001) como outro importante descritor de análise de sonoridades percussivas ou sustentadas, contudo, a partir da análise temporal da energia do sinal analisado. Do ponto de vista macroestrutural, relacionado com o vetor de características, a escolha dos descritores de áudio centrou-se na variedade dos atributos subjetivos de percepção sonora. Por tratar-se de medidas de análises de cujo resultados descrevem curvas unidimensionais, tal procedimento de escolha relaciona-se com a complexa representação dos espaços multidimensionais para descrever o fenômeno timbrístico.

A taxonomia de atributos subjetivos da percepção de sonoridades, correlacionados com os descritores de áudio, dialoga com o projeto composicional deste artigo, ao considerar as transformações sonoras a partir da manipulação do seu conteúdo espectral. Para tanto, relacionamos os dados dos descritores com as informações simbólicas musicais, especialmente, as técnicas instrumentais estendidas. Na próxima Seção 4, elucidaremos as etapas do processo de composição “*Labori Ruinae*”, às quais referem-se com nosso modelo composicional, descrito na Seção 2, e com as questões levantadas pela apresentação dos descritores de áudio, nesta Seção 3.

4. Etapas do Processo Composicional e Análise dos Dados

A primeira etapa do processo composicional centrou-se na elaboração das dez variações de sonoridades. Para tanto, utilizamos um banco de amostras de áudio de diversos modos de ataque, articulações e técnicas estendidas instrumentais. Os registros utilizados pertencem ao banco de dados sonoros compilado por BALLETT et al. (1999). O primeiro procedimento para dispor as sonoridades, deu-se a partir da orquestração do conjunto instrumental: flauta, clarinete, violino, viola e violoncelo, a qual foi configurada empiricamente, a partir das escolhas e experiências do próprio compositor. A escolha dos instrumentos pertencentes do conjunto trabalhado centrou-se nos registros utilizados pelo banco de dados, ao qual não possui instrumentos de percussão e de piano. Considerando os atributos subjetivos de percepção, como apresentados na Seção 3, cada variação de



sonoridade resultou a partir da alteração nas informações musicais. Outrossim, estas foram determinadas a partir das escolhas particulares do compositor. O procedimento empírico partiu-se do pressuposto da correlação entre a alteração na informação musical e o resultado de cada descritor de áudio, pertencente ao vetor de características. A Tabela 1, apresenta todas as variações de sonoridades estabelecidas e as suas respectivas informações musicais, tais como altura, dinâmica e técnica de execução instrumental.

	<i>Fl./Pic.</i>	<i>Cl./Bcl</i>	<i>Vln.</i>	<i>Vla.</i>	<i>Vc.</i>
1	<i>Dó#5 – pp – aeolian + note</i>	<i>Dó6 – pp - ord</i>	<i>Sol4 – mf – col legno tratto</i>		
2	<i>Lá4 – p – Aeolian Sound</i>	<i>Sol3 – ff - ord</i>	<i>Sol#5 – ff – senza vibrato</i>	<i>Si3 – mf - overpressure</i>	<i>Fá#3 – mf – Sul Ponticello Tremolo</i>
3	<i>Sol4 – mf - ord</i>	<i>Si4 – pp - ord</i>		<i>Sol3 – mf – Sul Tasto</i>	<i>Sol2 – ff – Sul Ponticello</i>
4	<i>Lá4 – p – aeolian + note</i>	<i>Sol2 – ff – poco vibrato</i>	<i>Sol5 – ff – senza vibrato</i>	<i>Si3 – mf - overpressure</i>	<i>Fá#3 – mf – Sul Ponticello Tremolo</i>
5	<i>Sol#4 – pp - ord</i>	<i>Sol#5 – pp - ord</i>	<i>Dó#6 – pp Tremolo</i>	<i>Ré#4 – mf – senza vibrato</i>	<i>Sol#3 – mf – ord</i>
6	<i>Dó#5 – mf - ord</i>	<i>Fá2 – f - ord</i>	<i>Sol#6 – mf - ord</i>	<i>Mi4 – mf – senza vibrato</i>	<i>Ré#3 – mf – Sul Tasto</i>
7	<i>Si4 – mp – poco vibrato</i>	<i>Sol#5 – pp - ord</i>	<i>Fá5 – mf - pizz</i>	<i>Ré#4 – mf - Tremolo</i>	<i>Sol#3 – ff - ord</i>
8	<i>Sol4 – ff – poco vibrato</i>	<i>Lá#2 – mf – poco vibrato</i>	<i>Sol#4 – ff – pizz bartok</i>	<i>Dó4 – mf – Sul Ponticello</i>	<i>Si2 – mf - overpressure</i>
9	<i>Dó#6 – p - ord</i>	<i>Ré5 – pp - frulatto</i>		<i>Mi4 – ff – senza vibrato</i>	<i>Lá2 – ff - ord</i>
10	<i>Sol4 – ff – ord.</i>	<i>Lá#1 – mf - ord</i>	<i>Sol#4 – ff – pizz bartók</i>	<i>Dó4 – mf - Ponticello</i>	<i>Si2 – mf - overpressure</i>

Tabela 1: Informações musicais de todas as sonoridades analisadas na obra. O índice, próximo a nota musical indica a sua localização no âmbito vertical, da partitura. A referência da nota *Dó4*, localiza-se na primeira linha complementar inferior, na clave de sol.

A extração de dados, relativos aos descritores de áudio, foi realizada no nosso protótipo de análise denominado como “*Sound Shizuku - Composition*” ou SSC. O ambiente virtual, implementado na linguagem de programação Pure Data, utiliza a biblioteca PDescriptors, desenvolvida por Monteiro (2012) no Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora – NICS/UNICAMP. A Tabela 2, apresenta os dados de todas as variações de sonoridades relativos aos descritores de áudio. Para realizar a análise, os dados foram normalizados no intervalo [0, ..., 1].



	Centroide	Obliquidade	Razão entre componentes	Decaimento	Irregularidade	Centroide Temporal
1	0.609	0.342	0.048	0.028	0.449	0.536
2	0.565	0.263	0.034	0.098	0.541	0.569
3	0.52	0.561	0.037	0.098	0.539	0.538
4	0.56	0.668	0.031	0.12	0.585	0.208
5	0.322	0.4	0.042	0.211	0.565	0.552
6	0.317	0.261	0.072	0.395	0.681	0.595
7	0.446	0.394	0.046	0.166	0.731	0.552
8	0.516	0.678	0.143	0.162	0.64	0.595
9	0.446	0.455	0.096	0.086	0.53	0.531
10	0.516	0.4	0.087	0.689	0.552	0.599

Tabela 2: Dados de análise extraídos pelos descritores utilizados.

A próxima etapa do planejamento composicional da obra, avaliou o índice de dissimilaridades entre o vetor de características de todas as variações de sonoridades. Para tanto, utilizamos o cálculo da distância euclidiana. A Tabela 3, apresenta os resultados das medidas entre todos os vetores de características. Por convenção, o maior índice de dissimilaridade representa o valor “um” e o menor índice é representado pelo valor “zero”.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
S1	0	0.653	0.336	0.633	0.576	0.787	0.598	0.435	0.503	0.706
S2	0.653	0	0.524	0.595	0.358	0.418	0.311	0.778	0.302	0.762
S3	0.336	0.524	0	0.363	0.367	0.618	0.386	0.293	0.28	0.618
S4	0.633	0.595	0.399	0	0.508	0.703	0.487	0.571	0.417	0.774
S5	0.576	0.358	0.367	0.508	0	0.295	0.215	0.577	0.197	0.583
S6	0.787	0.418	0.618	0.703	0.295	0	0.319	0.781	0.44	0.566
S7	0.598	0.311	0.386	0.487	0.319	0.319	0	0.579	0.233	0.635
S8	0.435	0.778	0.293	0.571	0.577	0.781	0.579	0	0.529	0.632
S9	0.503	0.302	0.28	0.417	0.197	0.44	0.233	0.529	0	0.669
S10	0.706	0.762	0.618	0.774	0.583	0.566	0.635	0.632	0.669	0

Tabela 3: Resultado do cálculo de dissimilaridade entre todas as sonoridades utilizadas na obra.

A partir dos dados coletados pela Tabela 3, ordenamos os pares de sonoridades, às quais possuem os menores índices de dissimilaridades. O diagrama da Figura 1, representa a estrutura formal do nosso modelo composicional, particular em “*Labori Ruinae*”.

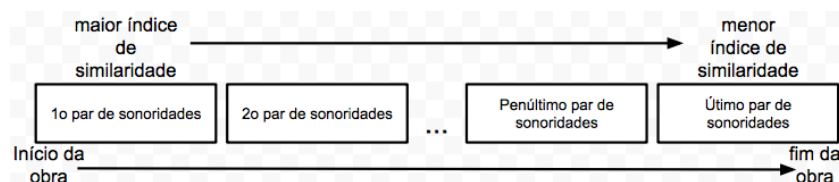


Figura 1: Diagrama do planejamento inicial para a concepção estrutural da obra

A partir dos pressupostos definidos, anteriormente, estabelecemos as relações entre as sonoridades, descritas na Tabela 1, em ordem crescente de dissimilaridade, dispostas na Tabela 4. Interessante destacar algumas características comuns entre as sonoridades, tais como a mudança timbrística realizada pela flauta, na Sonoridade 9, e o violino, na Sonoridade 5, executando a mesma nota “*Dó#6*”, em dinâmica *piano*. O ponto de destaque, entre as Sonoridades 7 e 5, localiza-se na permanência da nota “*Sol#*”, independente do registro ou técnicas instrumentais. O próximo par de Sonoridades, 3 e 9, não compartilham características em comum do ponto de vista simbólico. Todavia, os componentes espectrais, em comum com a nota “*Sol*”, presente maciçamente na Sonoridade 3, justifica o índice de dissimilaridade baixo. O último par de Sonoridade, 4 e 3, possui o maior índice de dissimilaridade utilizado. Algumas características musicais relacionam-se com tal resultado pela proximidade do registro entre as sonoridades, concomitante aos intervalos de segundas maiores e menores, “*Lá4*” e “*Sol4*” na flauta; e “*Fá#3*” e “*Sol2*”, no violoncelo.

Relação de Sonoridades	Dissimilaridade
Sonoridade 9 / Sonoridade 5	0.197
Sonoridade 7 / Sonoridade 5	0.215
Sonoridade 3 / Sonoridade 9	0.28
Sonoridade 8 / Sonoridade 3	0.293
Sonoridade 6 / Sonoridade 5	0.295
Sonoridade 2 / Sonoridade 9	0.302
Sonoridade 1 / Sonoridade 3	0.336
Sonoridade 4 / Sonoridade 3	0.363

Tabela 4: Relação entre os pares de sonoridade a partir do índice de dissimilaridade

A Tabela 4 forneceu dados para elaborarmos a Figura 2, com a qual representamos graficamente os índices de dissimilaridades entre as sonoridades.

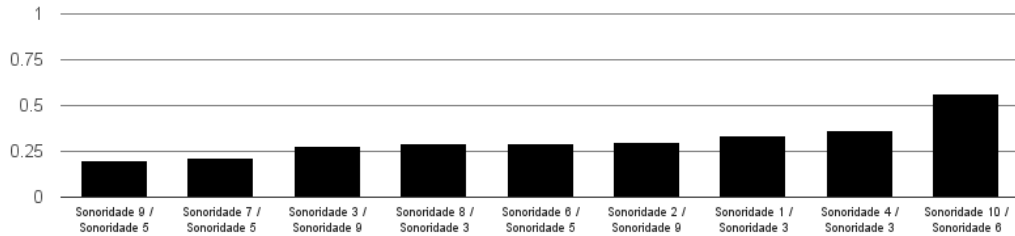
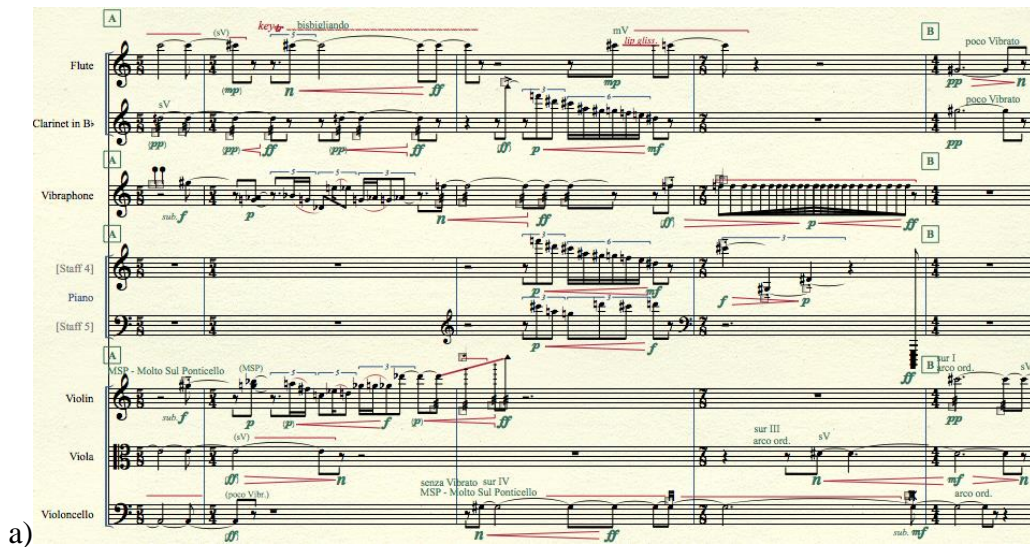


Figura 2: Histograma com a trajetória dos pares de sonoridades a partir do índice de dissimilaridades

Os pares de sonoridades interpolaram-se a partir das sonoridades comuns entre os seus adjacentes ou pela recorrência de alguma sonoridade no desenvolvimento dinâmico da obra. A Figura 3, representa a interpolação do 1º par, iniciando com a Sonoridade 9, culminando na Sonoridade 5. O seu par consecutivo, inicia-se com a própria Sonoridade 5, culminando na Sonoridade 7.



a)

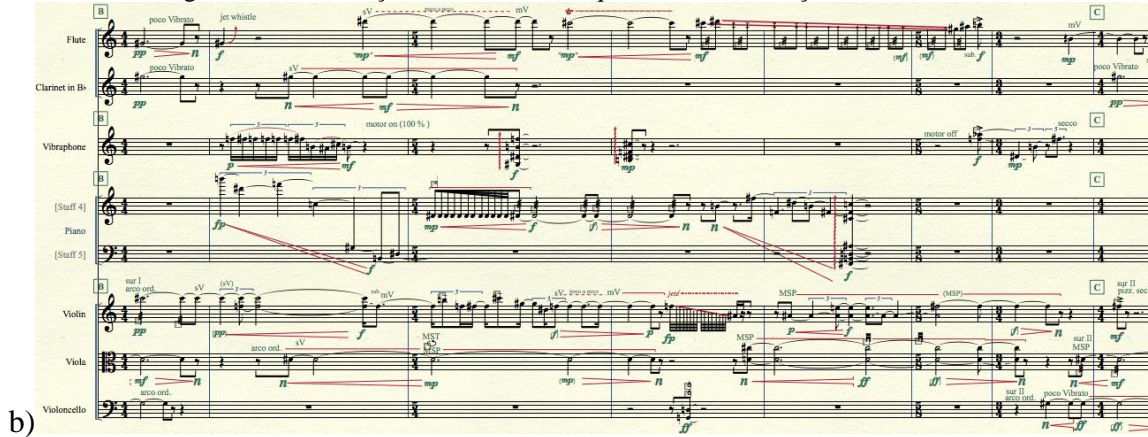


Figura 3: Partitura dos pares de sonoridades, 9 e 5, entre as marcações de ensaio “A” e “B” (a). O par consecutivo (b), localiza-se entre as marcações “B” e “C”, representando as sonoridades 5 e 7.

Concatenamos os pares de sonoridades de maneira lúdica e intuitiva, do ponto de vista da manutenção ou da pertinência das características musicais comuns às sonoridades. No exemplo da Figura 4, representamos a condução da Sonoridade 10 em direção à Sonoridade 6, com mudanças graduais, abruptas ou com a manutenção das suas características comuns.

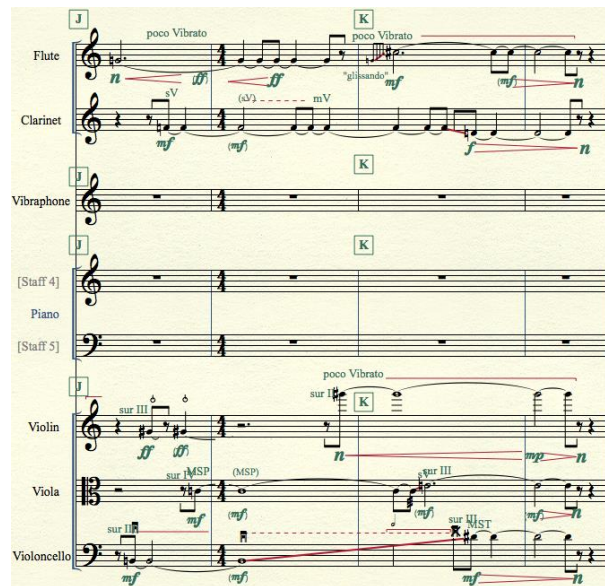


Figura 4: Transição entre as sonoridades 10 e 6, com poucas mudanças nas informações musicais

5. Considerações Finais e Projeções Futuras

O artigo apresenta um estudo sobre a aplicação de descritores de áudio em orquestração assistida por computador, na composição da obra “*Labori Ruinae*”. Tal abordagem integra a pesquisa de doutorado, em desenvolvimento, no NICS/UNICAMP. A metodologia, aqui apresentada, versou sobre a análise sonora de características timbrísticas



XXV Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música – Vitória – 2015
potenciais a transformações timbrísticas graduais. Tais análises foram ancoradas num vetor constituído por um conjunto de seis descritores de áudio.

O trabalho apresentado relaciona-se diretamente com a pesquisa iniciada em (SIMURRA; MANZOLLI, 2014) e 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 são inovadores e de grande interesse para a comunidade especializada na área de composição musical de cujo foco concentra-se no timbre musical. Pretendemos ampliar e dar continuidade ao estudo nas seguintes direções: a) continuar criando novos estudos composicionais nos quais possamos explorar outras sonoridades; b) aperfeiçoar o nosso protótipo (*Sound Shizuku - Composition/SSC*) de análise e composição musical assistidas por computador e c) ampliar o trabalho de análise, para posterior publicação dos resultados.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio da FAPESP, junto ao processo 2011/23972-2.

Referências:

- BALLET, G.; BORGHESI, R.; HOFFMANN, P.; LÉVY, F. Studio Online 3.0: An Internet “Killer Application” for Remote Access to IRCAM Sounds and Processing tools. Journées d’Informatique Musicale. Université Paris 8. Paris, France. 1999. 10 pgs.
- BERLIOZ, Hector. Treatise on Instrumentation by Hector Berlioz and Richard Strauss, translated by Theodore Front, published by Edwin F. Kalmus, NY, NY 1948
- BOULEZ, Pierre. “Timbre and composition – timbre and language”. Contemporary Music Review. Vol. 2 pp. 161-171. Translated by R. Robertson
- BRENT, William. Physical and perceptual aspects of percussive timbre, 2010
- DUBNOV, Shlomo, "Generalization of spectral flatness measure for non-Gaussian linear processes," Signal Processing Letters, IEEE , vol.11, no.8, pp.698,701, Aug. 2004
- JENSEN, K. Timbre models of musical sounds. PhD thesis, Department of Computer Science, University of Copenhagen, 1999.
- GOUYON, Fabien, and PERFECTO Herrera. "Exploration of techniques for automatic labeling of audio drum tracks instruments." Proceedings of MOSART: Workshop on Current Directions in Computer Music. 2001.
- GUIGUE, Didier. Estética da sonoridade: a herança de Debussy na música para piano do século XX. 2011.



- XXV Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música – Vitória – 2015
- MALT, Mikhail.; JOURDAN, Emanuel. Zsa.Descriptors: a library for real-time descriptors analysis. In 5th Sound And Music Computing Conference, Berlin, Allemagne, 31th july to August, 3rd, 2008.
- MONTEIRO, Adriano. Criação e performance musical no contexto dos instrumentos musicais digitais. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Campinas – UNICAMP, 2012.
- PEETERS, Geoffroy. – A Large Set of Audio Features for Sound Description (Similarity and Classification) in the CUIDADO Project, CUIDADO I.S.T. Project Report, 2004. 25 pgs
- RIMSKY-KORSAKOV, N. “Principles of Orchestration”. ed. by Maximilian Steinberg. Traduzido por Edward Agate; New York: Dover Publications, 1964
- SIMURRA, I. E. Y. e MANZOLLI, J. Diário de Bordo – Composição a partir de descritores de áudio: *Lana Tai – no dia em que nasceu uma aquarela*. Revista PerMusi. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. ISSN: 2317-6377. Situação: *no prelo para publicação*
- SIMURRA, I. E. Y. e MANZOLLI, J. *Diário de Bordo II: “O azeite, a lua e o rio - numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho”*. Revista OPUS. Revista Eletrônica da ANPPOM. ISSN: 1717-7017. Situação: *no prelo para publicação*
- SOLOMOS, Makis. De la musique au son: l’émergence du son dans la musique des XIXe-XXIe siecles. Presses universitaires de Rennes, 2013.
- THEODORIDIS, S.; KOUTROUMBAS. Pattern Recognition. Academic press, Third Edition. 2009. 967 pgs.