

Pesquisa em composição e análise: Ferramentas computacionais, inter-relações e emergências

Danilo Rossetti

Universidade Federal de Mato Grosso | Brasil

Resumo: Nos séculos XX e XXI o suporte computacional promoveu inter-relações entre as áreas de composição e análise musical de forma singular. Dentro do contexto acadêmico, a relação entre estas duas áreas pode se dar por meio de proposições de hipóteses analíticas cujos resultados de análise que são utilizados em novas criações. Neste artigo, colocamos a questão se estas áreas podem configurar um sistema que se retroalimenta e se transforma constantemente a partir das novas informações obtidas no decorrer dos processos. Propomos a análise da obra *Substâncias moldáveis – versão 2* que apresenta uma segmentação formal em duas partes com características sonoras distintas. Para a análise de cada parte, adotamos ferramentas de análise específicas considerando a hipótese de que as ferramentas empregadas devem se adaptar às características da obra. Como análise dos resultados, integramos duas partes gerando representações gráficas comparativas de características acústicas e psicoacústicas analisadas. Por fim, como conclusão, fornecemos uma interpretação dos fenômenos emergentes das massas e texturas sonoras presentes na obra a partir das representações gráficas criadas.

Palavras-chave: Composição musical, Análise musical, Pesquisa em música, Musicologia sistemática, Emergência sonológica.

Abstract: In XX and XXI centuries, computer support promoted inter-relationships between the fields of composition and musical analysis in unique ways. In the academic context, the relationships between both areas can be achieved through analytical hypotheses whose results of analysis are utilized in new musical works. In this article, we enquire if these areas can configure a feedback system with constant transformations based on the new information obtained during the processes. We propose the analysis of the work *Substâncias Moldáveis – version 2*, that presents a formal segmentation in two parts with different sound features. For the analysis of each part, we adopted specific analysis tools considering the hypothesis that the tools employed should adapt to the features of the analyzed work. As an analysis of the results, we integrate both parts generating comparative graphical representations of the analyzed acoustic and psychoacoustic features. Finally, as a conclusion, we provide an interpretation of the phenomena emerging from the sound masses and textures found in the piece from the graphical representations created.

Keywords: Musical composition, Musical analysis, Research in music, Systematic musicology, Sonological emergence.

A relação entre composição e análise musical pode ser vista como bastante próxima, ainda que seus objetivos específicos sejam diferentes. Ao longo do século XX, muitos compositores e compositoras escreveram textos com o intuito de apresentarem análises e eventuais teorias composicionais (SAARIAHO, 1987. STOCKHAUSEN, 1988. XENAKIS, 1992. BOULEZ, 2005. GRISEY, 2008. LIGETI, 2010. LACHENMANN, 2017).

O estudo da composição, historicamente, sempre esteve relacionado ao estudo e análise de obras musicais do passado, indicando que as atividades de composição e análise sempre caminharam lado a lado. François Delalande nos lembra da afirmação de Varèse sobre a música do futuro, que seria seguramente baseada no som e estaria além das notas. Atualmente, ele nos propõe a constituição de uma teoria da análise musical que estaria também além das notas considerando outros fatores como a escuta e representações alternativas (DELALANDE, 2019, p. 25-29).

Ao longo do século XX o trabalho composicional com auxílio de computadores aproximou as duas áreas de maneira singular. Nesse sentido destacamos duas experiências pioneiras importantes deste caminho, a primeira relacionada à música algorítmica, e a segunda, à síntese sonora. Lejaren Hiller e Leonard Isaacson (1959, p. 165) já apontavam, nos anos 1950, que a composição e a análise musical seriam áreas de interesse para aplicação da computação musical no futuro. Max Mathews, por sua vez, nos anos 1960, já delimitava que o processamento sonoro realizado no computador poderia ser dividido em análise do som e síntese de som (MATHEWS, 1969, p. 33). Mais recentemente, nos anos 1990, Curtis Roads (1996, p. 495), em uma abordagem da música computacional mais próxima da inteligência artificial, defendeu que a análise do som é profundamente importante nos processos de criação e análise com suporte computacional. Os meios pelos quais um computador “escuta” o permite reconhecer, entender e responder musicalmente a partir daquilo que ele processa.

Atualmente, as ferramentas computacionais para criação e análise musical são muitas vezes as mesmas, dentro dos mesmos ambientes, programas e bibliotecas externas. Como exemplo temos os Max/Msp (2023), Pure Data (2023) ou OpenMusic (2023) nos quais a diferença se dá pela forma de organização interna dos aplicativos, *patches* e objetos utilizados, além dos dados de entrada e saída dos mesmos. Especificamente voltado para a análise musical, destacamos o programa Sonic Visualiser (2023) e EAnalysis (2023), no qual é possível criar uma série de representações gráficas

alternativas de fenômenos musicais a partir de gravações sonoras digitalizadas.

A pergunta que desejamos abordar neste texto de forma geral, ainda que de maneira parcial e sem conclusões definitivas – mas que se aproxima de uma abordagem que navega pelas etapas dos processos criativos composicionais e analíticos¹ – é se a composição e a análise musical podem se relacionar de forma a estabelecer um tipo de sistema que se retroalimenta constantemente a partir de novas informações adquiridas no decorrer dos processos das duas atividades, transformando continuamente o trabalho do(a) compositor(a).

Em um artigo anterior (ROSSETTI, 2018), já esboçamos algumas ideias sobre a relação entre criação e análise musical com suporte computacional, baseados nos conceitos de imagem (Bergson), invenção (Simondon) e forma (princípio da individuação de Simondon e semiótica de Thom). Em outro trabalho (ROSSETTI; ANTUNES; MANZOLLI, 2022), propusemos uma metodologia de utilização de diferentes ferramentas de análise musical com suporte computacional, indicando as suas aplicações em determinados repertórios.

Partimos do princípio de que aplicação de uma ferramenta específica de análise é dependente da morfologia sonora encontrada, ou seja, em linhas gerais, das características espectrais de um determinado som, em relação ao seu conteúdo em termos de frequências e durações (SCHAEFFER, 1966. VAGGIONE, 1994, 1996. SMALLEY, 1997). Neste artigo, mais do que questões epistemológicas dos processos de criação e análise, ou ainda uma discussão sobre uma metodologia de análise musical como desenvolvemos anteriormente, o objetivo é traçar inter-relações entre esses dois processos, de modo a buscar respostas para a pergunta esboçada no parágrafo anterior.

A proposta neste texto é apresentar uma experiência de análise com suporte computacional de *Substâncias moldáveis – versão 2* (ROSSETTI; MANZOLLI, 2019b. ROSSETTI; MANZOLLI, 2020), obra eletroacústica com audiovisual *ad libitum*, de autoria própria. Nosso intuito não é apresentar uma teoria ou análise definitiva da obra, mas sobretudo uma interpretação analítica dos fenômenos sonoros, massas e características espectrais dos timbres e texturas presentes. A análise se baseará especificamente no áudio, e não incluiremos aspectos de análise visual nem correspondências entre os meios visual e sonoro. Uma análise estritamente voltada ao musical se

¹ Consideramos a análise musical também um processo criativo, como trataremos de abordar e descrever neste artigo.

justifica nesta obra já que também há a possibilidade de sua execução exclusivamente em formato sonoro, tal como uma obra acusmática². Poderíamos ter utilizado obras de outros(as) compositores(as) para ilustrar a relação entre composição e análise que desejamos discutir, porém a escolha desta obra se justifica pela diferenciação, de forma quase didática, entre as morfologias sonoras das suas duas partes encontradas em *Substâncias moldáveis – versão 2*.

Como referências teóricas que abrangem esta temática, apresentamos a relação entre composição, análise e pesquisa proposta por Anne Sèdes (2014), além da aproximação feita por Nicolas Donin (2015) entre processos criativos, teoria musical e autoanálise. No campo teórico da análise, nos baseamos na definição da musicologia sistemática de Richard Parncutt (2007, 2012) e da musicologia empírica de David Huron (1999). De maneira mais ampla, nos embasamos no conceito de emergência (ASHBY, 1970, p. 129-132. VINTIADIS, 2013), emergência sonológica e morfológica (ANDERSON; DI SCIPIO, 2005, p. 18. DI SCIPIO; PRIGNANO, 1996, p. 32) e na ideia de entendimento da música como um sistema dinâmico com propriedades emergentes (PRIGOGINE, 1996. SIMONDON, 2005).

1. Composição, pesquisa e autoanálise

De modo a sublinhar a metodologia que aplicaremos neste trabalho, tomaremos como base a proposta de uma inter-relação entre criação musical e artística, análise e pesquisa, tal como enunciada por Paul Valéry. Em *Introduction à la méthode de Leonard de Vinci* (1919), Valéry resumiu o método de trabalho deste criador como “compreender para fazer, fazer para compreender” (VALÉRY, 1919, p. 11). Nesse sentido, existe uma realimentação que engloba os processos de conhecimento e as operações dentro das artes, que se efetivam pelas trocas entre a análise e os atos de realização. Valéry ainda coloca que os problemas da composição (artística) são recíprocos aos problemas da análise, uma conquista dos tempos atuais (VALÉRY, 1919, p. 91-92). Ressaltamos, a partir das afirmações apresentadas que datam do início do século XX, que de fato pode haver uma pesquisa relacionada à criação artística (no nosso caso a criação musical), com uma

² A versão acusmática da obra pode ser escutada em <https://drive.google.com/file/d/1kPO0fGtOS2dXw-iTFO6viLXr0iroSjow/view?usp=sharing>

metodologia que engloba reciprocamente o fazer e o analisar.

Anne Sèdes em seu seminário de Composição e Pesquisa (*Composition et Recherche*) na Universidade Paris 8 apresentou uma possível relação entre criação e análise, traduzindo a proposição de Valéry em outras palavras, referindo-se ao contexto musical.

O terreno experimental da criação constitui um meio de testar, demonstrar, provar, verificar hipóteses, mas também de construir situações, “aparelhos”, meios, modelos, objetos, etc. O emprego da análise musicológica constitui, entre outros, um meio metodológico para desenvolver uma hipótese³ (SÈDES, 2014, tradução nossa).

Neste contexto seria, portanto, possível entender que a relação entre criação e análise se basearia nas hipóteses imaginadas teoricamente em processos de análise e aplicadas de forma prática em processos criativos.

Nicolas Donin (2015, p. 168) afirmou ser possível uma aproximação entre composição (processo criativo) e teoria musical por meio de processos particulares de autoanálise. Pode-se estabelecer um entrelaçamento entre composição e pesquisa aproximando leituras de processos criativos (normalmente individuais) a uma possível teorização sobre o caminho percorrido durante o processo de criação.

Segundo Donin, e recorrentemente dentro de discussões acadêmicas, a autoanálise é considerada controversa, pois normalmente o processo de análise em si é realizado por uma pessoa diferente do(a) compositor(a) de uma determinada obra. Nesse sentido, Donin (2015, p. 152) argumenta, baseado no contexto histórico, que a prática da análise musical, no século XIX, substituiu parcialmente manuais e escritos teóricos que transmitiam os saberes, regras e valores composicionais presentes em prefácios e outros textos descritivos. Já no século XX, temos o surgimento de textos considerados autoanalíticos que engajam “uma reflexão sobre sua atividade criativa e um trabalho de análise musical de suas próprias obras”, sendo que “análise” se refere à decomposição da obra ou processo de referência e avaliação de seus elementos e partes, e “auto” a qualquer coisa de si próprio.

³ *Le terrain expérimental de la création constitue un moyen de tester, démontrer, prouver, vérifier des hypothèses, mais aussi de construire des situations, des “appareils”, des environnements, des modèles, des objets, etc. Le recours à l’analyse musicologique constitue, entre autres, un moyen méthodologique pour développer une hypothèse* (SÈDES, 2014).

Trata-se de uma confrontação com a realidade da atividade criativa pelo(a) compositor(a), aplicando uma leitura técnica à trajetória da própria obra, sendo encontrada de forma recorrente em obras de compositores ao longo do século XX (DONIN, 2015, p. 152-153). Donin cita os exemplos de Arnold Schoenberg e Pierre Schaeffer referindo-se a compositores que publicaram textos analíticos sobre suas próprias obras. O primeiro descreveu, em seu texto *Autoanálise* (1948), o caminho técnico e estético que percorreu afastando-se do sistema tonal em direção ao “atonalismo” e, posteriormente, o dodecafonismo. O segundo realizou sua reflexão escrevendo textos em formato de diários publicados no livro *Em busca da música concreta* (1952), que descrevem as etapas das descobertas dos meios técnicos e operacionais empregados nos experimentos da música concreta realizados nos estúdios da Radiodifusão francesa (DONIN, 2015, p. 154-162).

2. Conceitos gerais e metodologia de análise

Partimos de uma visão geral que entende a música como um sistema complexo dinâmico, principalmente no momento da performance. De acordo com Prigogine (1996), nesse tipo sistema o tempo é um parâmetro independente: os outros parâmetros se ligam a ele e variam no decorrer da obra. Esta ideia surgiu com o desenvolvimento da termodinâmica no século XIX, junto com a proposta de um “tempo irreversível” que se desenvolve em “uma única direção”. Como características, os sistemas dinâmicos complexos são normalmente instáveis e formados por um grande número de variáveis ou estados isolados.

Em *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste* (1892), Henri Poincaré destacou que todo sistema dinâmico tem uma energia cinética que depende da velocidade dos corpos, além de uma energia potencial que depende da interação entre eles, ou seja, quando a energia potencial é eliminada totalmente, não há interação entre suas partes. Portanto, manter a energia potencial presente em um sistema permite a interação entre as suas variáveis, sendo esta a ideia base dos sistemas emergentes (PRIGOGINE, 1996, p. 40-42).

A tendência ao equilíbrio dentro de um sistema dinâmico se deve ao aparecimento de ressonâncias entre as frequências e pelo acúmulo de energia potencial, o que leva à possibilidade, de acordo com Gilbert Simondon, de um novo processo de individuação física. O princípio da

individualização é uma operação que ocorre através do sistema energético que se individua, na medida em que sua ressonância interna aparece e a matéria toma a sua forma. A individualização, portanto, não é a matéria nem a forma, mas a operação pela qual a matéria toma a sua forma dentro de um sistema com uma certa ressonância interna. Há, neste sentido, uma troca energética entre a matéria e a forma, até que este sistema atinja um estado de equilíbrio. Esta operação está baseada no aparecimento de singularidades (informações), de maneira a envolvê-las e amplificá-las (SIMONDON, 2005, p. 48).

Os sistemas dinâmicos apresentam propriedades emergentes que, no caso da música, são decorrentes de suas propriedades acústicas, psicoacústicas e perceptivas. Como propriedade dos sistemas emergentes, as suas características globais aparecem como um resultado da interação de seus componentes (DI SCIPIO, 2002, p. 113). Dentro dessa definição, emergência significa que o resultado de um processo é maior do que a soma de suas partes, além do todo apresentar propriedades diferentes das partes individualmente. Quando se conhece o comportamento de todas as partes do sistema, a previsão dos resultados é completa e não há a emergência de propriedades extras. Por outro lado, existem sistemas em que o conhecimento total ou das partes não é completo, por diversas razões, seja porque o sistema se torna muito grande, seja porque as propriedades do todo diferem muito das propriedades das partes, entre outras possibilidades. São propriamente nestes casos que propriedades emergentes surgem (ASHBY, 1970, p. 129-132).

Por definição, a emergência em um sistema pode acontecer de duas formas: sincrônica ou diacrônica. Na emergência sincrônica os fenômenos emergentes de nível mais alto estão presentes simultaneamente nos fenômenos de nível mais baixo, tal como uma “emergência vertical”. A emergência diacrônica seria uma “emergência horizontal” que se desenvolve no tempo, significando que a estrutura a partir da qual a nova propriedade emerge existe previamente à estrutura emergente (VINTIADIS, 2013).

A proposta metodológica de análise que apresentaremos, situada no campo da análise musical com suporte computacional, se embasa na musicologia sistemática proposta por Richard Parncutt (2007, p. 5; 2012, p. 151), como uma atualização da proposição de Guido Adler, no final do século XIX. A proposta de Parncutt se funda na ideia de que a musicologia sistemática é uma área de pesquisa multidisciplinar, baseada em dados obtidos por diferentes meios e fontes, envolvendo

disciplinas como sociologia, acústica, psicologia, neurociências, ciências cognitivas, computação etc., e emprega ferramentas provenientes das ciências duras.

Nossa proposta também se relaciona com a musicologia empírica de David Huron, que descreve uma retomada da abordagem sistemática na musicologia do final do século XX, muito provavelmente decorrente do acesso a recursos computacionais e banco de dados, além de novas ferramentas, técnicas de modelização que facilitaram a coleta, análise e interpretação da informação musical. O empirismo, neste modelo, aparece como uma alta motivação de aprendizado a partir de uma grande quantidade de informação disponível nos tempos atuais (HURON, 1999, p. 25).

Tendo como base os pontos apresentados acima (a visão da música como um sistema dinâmico com propriedades emergentes, a musicologia sistemática de Parncutt e a musicologia empírica de Huron), desenvolvemos anteriormente trabalhos analíticos com algumas ferramentas computacionais que produzem representações gráficas de fenômenos sonoros. Essas representações têm a função de elucidar características específicas do desenvolvimento do timbre, texturas e outras propriedades sonoras acústicas e psicoacústicas emergentes (ROSSETTI; MANZOLLI, 2019a. ROSSETTI; ANTUNES, MANZOLLI, 2020). Na medida em que estas ferramentas forem utilizadas ao longo da análise neste artigo, teceremos explicações sobre elas.

3. *Substâncias moldáveis – versão 2: Análise*

3.1 *Visão geral*

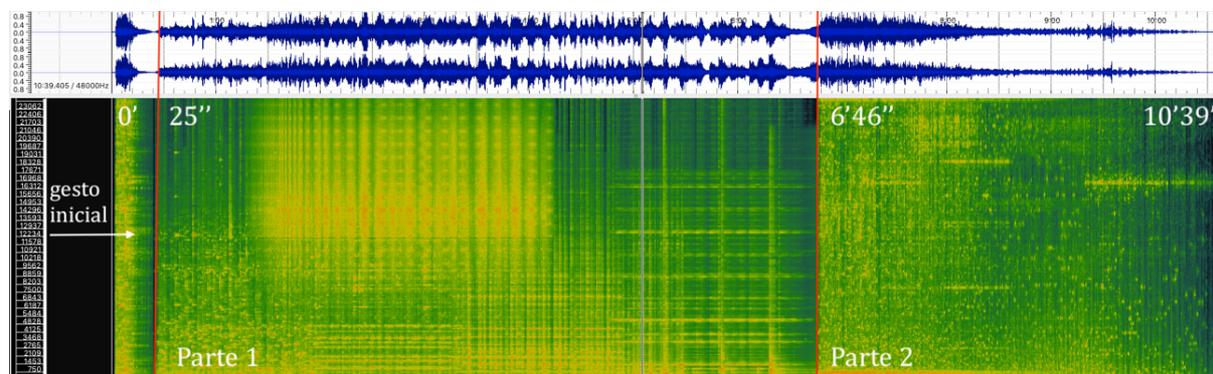
Por meio de uma análise prévia pela escuta, objetivamente definimos que *Substâncias moldáveis – versão 2* pode ser segmentada em duas grandes partes (seções) com características sonoras e espectrais distintas. Ainda que as duas partes tenham como característica geral um trabalho composicional com texturas e timbres sobrepostos, originando uma característica proeminente de massa sonora devido à aglutinação dos elementos sonoros justapostos e sobrepostos, eles são bastante distintos. As duas partes dessa peça foram concebidas a partir das definições dos paradigmas ondulatorio e granular apresentadas em nossa tese de doutorado (ROSSETTI, 2016).

A noção de massa sonora, tão difundida principalmente a partir da segunda metade do século XX, pode ser atribuída à Iannis Xenakis com a composição de sua obra *Metastaseis* (1953-54), para orquestra. Nesta peça, há uma distribuição específica de uma grande quantidade de eventos sonoros escritos na partitura para cada integrante da orquestra, individualmente. Na medida em que estes eventos se sucedem, um grande movimento no espaço é produzido, alterando-se constantemente em seu interior, produzindo um som único, uma massa que se transforma constantemente (MATOSSIAN, 1986, p. 56-58). Este tipo de escrita musical é reproduzido novamente em sua obra subsequente, *Pithoprakta* (1955-56), e também passa a ser adotada a partir de maneiras ligeiramente similares, mas também com algumas diferenças, como são o caso de Krzysztof Penderecki, na *Trenodia para as vítimas de Hiroshima* (1960) e György Ligeti, em *Atmosphères* (1961). Adotamos também a diferenciação entre textura e timbre baseada em Dubnov, Tishby e Cohen (1997), na qual a textura é separável auditivamente em camadas distintas. Distintas texturas podem fundir-se em um único timbre.

A primeira parte de *Substâncias moldáveis – versão 2* caracteriza-se por uma aglutinação formada pela sobreposição de parciais que evoluem no tempo, partindo de uma concepção do som fundamentada no paradigma ondulatório, tal como preconizada por Helmholtz (1954) e outros autores no final do século XIX, e ampliada nos séculos subsequentes por estudos na área de acústica e psicoacústica. Ao longo da primeira seção, percebe-se que as texturas e o timbre resultante evoluem gradualmente para momentos mais e menos densos, com percepções de brilhos espectrais que variam da região média-aguda à região médio-grave.

A sua segunda parte caracteriza-se por massas completamente distintas da primeira, baseadas no paradigma granular, no qual o som deixa de ser pensado composicionalmente como uma sobreposição de parciais para ser concebido como uma aglutinação de texturas de grãos sonoros (XENAKIS, 1992, p. 43-44). Cada grão sonoro tem seu envelope de onda definido, e podem ser distribuídos em bandas frequenciais mais ou menos largas, em diferentes regiões, com diferentes densidades, do mais denso ao mais rarefeito. Percebe-se nessa seção que há uma evolução tímbrica também gradual, em seu início, de massas mais densas que evoluem gradualmente para massas menos densas e mais rarefeitas, com intensidade decrescente, na medida em que o final da peça se aproxima.

FIGURA 1 – Forma de onda e sonograma de *Substâncias moldáveis – versão 2*, do compositor Danilo Rossetti, realizados no programa Sonic Visualiser.



Fonte: Autor.

Na Figura 1 temos a forma de onda (em azul, acima) e o sonograma da obra (abaixo, em tons de verde, amarelo e laranja) realizado no programa Sonic Visualiser, no qual é possível observar as características espectrais distintas entre as duas partes. Na parte 1, que dura de 25'' a 6'46''⁴, ao observarmos o sonograma, há uma massa sonora que se mantém contínua ao longo da seção, apresentando com variações internas, tais como momentos com concentração de parciais nas regiões grave e aguda e momentos em que estes parciais estão mais distribuídos na totalidade do espaço frequencial. Em termos de intensidade, essa parte se mantém relativamente estável, com uma energia consideravelmente alta, como observa-se pela forma de onda.

A parte 2, a partir de 6'46'', tem uma textura distinta, mais descontínua e granular, com uma distribuição dos grãos de maneira uniforme pelo espaço frequencial (ainda que haja uma concentração na região grave no início dessa seção). A textura granular aos poucos se rarefaz e torna-se cada vez mais permeada de silêncios, até o final da peça. Ao observarmos a forma de onda dessa seção, há uma queda de energia gradual entre o seu início, com muita energia, e o seu final, com uma energia muito mais baixa.

A partir dessa proposta inicial baseada na escuta e em suportes visuais que representam a forma de onda e o sonograma, a questão metodológica que se coloca é como pode-se desenvolver uma análise detalhada de cada uma das partes da obra, levando em conta que estas são distintas

⁴ O gesto inicial de 25'' no início da peça não será considerado na segmentação das duas partes da peça e tampouco na análise. Nossa análise focará na diferenciação da metodologia analítica nas partes segmentadas.

enquanto material sonoro, desenvolvimento interno espectral e tímbrico do material e concepção teórica sobre o conteúdo espectral do som. A partir desses pontos, desenvolveremos a hipótese de que cada parte terá de ser analisada por ferramentas computacionais distintas que se adequam com mais eficiência a cada uma dessas partes, na medida em que mostram características relevantes de cada uma delas.

A partir da visualização do sonograma podemos ter uma ideia geral do conteúdo espectral das partes, no entanto, não entramos nos detalhes dos parciais e grãos que compõem cada uma delas, tampouco como estão organizados. A fim de entender essas questões, editamos o áudio da peça em dois grandes trechos, cada um referente a uma seção, que passarão a ser analisados individualmente.

3.2 Análise da parte 1

O áudio referente à parte 1 foi aberto no programa AudioSculpt (2023) no qual realizamos um processo chamado *partial tracking analysis* (análise de rastreamento de parciais)⁵ que nos fornece informações sobre quais parciais estão presentes a cada momento do áudio analisado, além do tempo de duração destes parciais e suas respectivas fases. Essas informações a seguir são exportadas em um arquivo de texto em formato de lista. Na Figura 2 apresentamos uma pequena parte dessa lista, calculada a partir do método *inharmonic partial analysis*.

⁵ O AudioSculpt é um programa de caráter pago, desenvolvido pelo *Ircam (Institut de Recherche et Coordination Acoustique-Musique)* e distribuído em seu Fórum. O programa Spear realiza funções semelhantes às que apresentaremos nesse artigo, com distribuição gratuita. A biblioteca externa *Super VP* do programa Max/MSP utiliza o mesmo algoritmo do AudioSculpt para as operações de seus objetos, biblioteca esta também distribuída gratuitamente no Fórum Ircam.

FIGURA 2 – Excerto da lista de dados exportada pelo programa AudioSculpt, na função *Partial tracking analysis*.

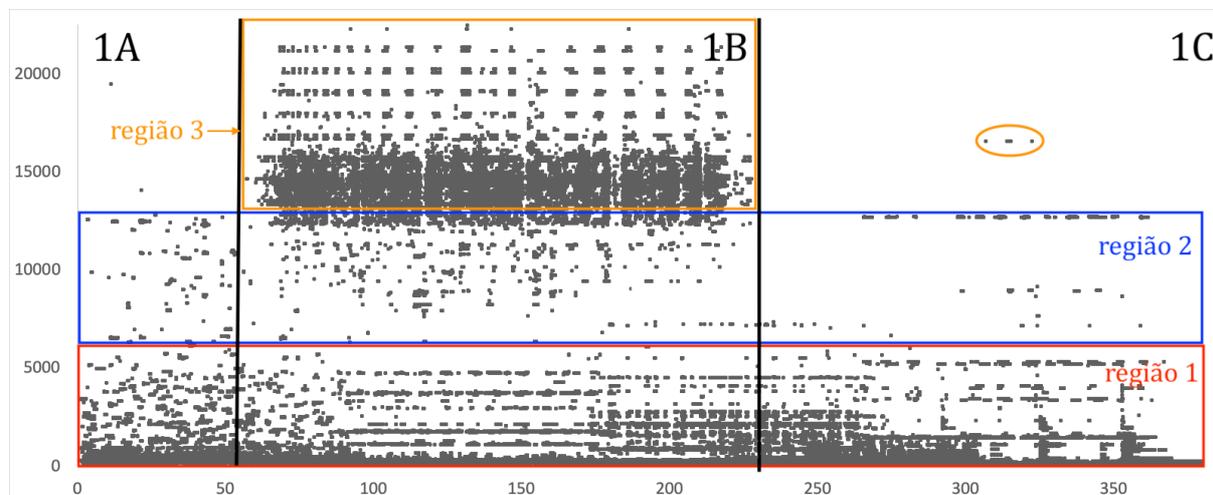
0,912469	199,663040	3,100535	1,749969	187,626114	-1,078148	1,899969	188,098038	-2,544771
0,924969	198,759842	-0,008127	1,762469	188,518101	1,190932	1,912469	187,344498	-0,252056
0,937469	196,853149	2,945140	1,774969	185,819916	-2,835370	1,924969	183,404831	1,773631
0,949969	198,227051	-0,490150				1,937469	181,031921	-2,847862
						1,949969	182,187378	-1,294555
0,999969	192,984161	-0,518215	1,799969	3334,801270	-3,011427	1,962469	186,241547	0,602314
1,012469	192,749771	2,030547	1,812469	3336,345459	1,293016	1,974969	189,290054	2,858371
			1,824969	3338,244141	-0,613523			
			1,837469	3339,098877	-2,216471			
			1,849969	3337,479736	2,468388	1,912469	1948,136108	-2,874041
1,137469	3354,178467	-3,128219	1,862469	3334,305908	0,390957	1,924969	1943,381836	-0,967769
1,149969	3353,823730	2,673446				1,937469	1943,523438	0,929608
1,162469	3353,787354	2,116801						
			1,799969	835,594910	3,049135			
			1,812469	837,111877	-0,454001	1,962469	641,347046	0,635425
			1,824969	839,275085	2,518814	1,974969	638,732605	0,577741
1,174969	193,175873	2,105601	1,837469	841,641602	-0,606160	1,987469	637,720093	0,414589
1,187469	193,844406	-1,566367	1,849969	845,527832	2,778394	1,999969	637,213989	0,233875
1,199969	194,869415	1,129846	1,862469	849,590332	0,272494			
			1,874969	852,727600	-1,919242			
			1,887469	853,920105	2,302663	1,987469	3345,676025	0,492112
1,249969	195,729553	1,673626	1,899969	853,770569	0,281318	1,999969	3349,075928	-0,623035
1,262469	193,873688	-1,969705	1,912469	853,028198	-1,796281	2,012469	3350,874756	-1,380292
1,274969	193,947800	0,678447	1,924969	852,270996	2,400977	2,024969	3351,777100	-2,028413
1,287469	197,024139	-2,771209	1,937469	851,375977	0,209385	2,037469	3352,671875	-2,669923
			1,949969	850,513611	-2,097292	2,049969	3355,978516	-3,097787
			1,962469	850,468384	1,821662	2,062469	3358,275879	3,026134
1,512469	3334,731934	-1,251175	1,974969	851,302874	-0,487993	2,074969	3358,142090	3,040249
1,524969	3334,502686	2,988727	1,987469	852,664246	-2,649245	2,087469	3357,041748	2,730588
1,537469	3336,087646	0,986216	1,999969	853,356750	1,536639	2,099969	3359,524414	2,433410
1,549969	3337,799561	-0,737189	2,012469	853,256653	-0,536858			
			2,024969	852,549805	-2,660084			
			2,037469	851,524048	1,450820	2,049969	173,501282	-1,205781
1,637469	191,410431	-0,931014	2,049969	850,549072	-0,836799	2,062469	174,714508	-0,064722
1,649969	190,755890	1,550779	2,062469	850,114807	3,079849	2,074969	176,379456	1,118629
			2,074969	850,324707	0,719750	2,087469	177,448318	2,472668
			2,087469	850,821838	-1,589103	2,099969	176,514465	-2,400919
1,674969	844,972717	-1,015326	2,099969	851,447754	2,404227	2,112469	175,648956	-1,242234
1,687469	843,624451	2,427524	2,112469	851,790344	0,219335			
1,699969	842,041870	-0,424187	2,124969	851,854492	-1,949345			
1,712469	839,493225	2,814547	2,137469	852,697998	2,089086	2,124969	96,457161	2,725536
1,724969	835,533936	-0,562552	2,149969	853,944031	0,032235	2,137469	96,337082	-2,506549
1,737469	831,952942	2,009522						

Fonte: Autor.

Os dados da lista exportada possuem originalmente 3 colunas: 1) tempo, em segundos, 2) frequência, em Hertz, e 3) fase, entre $-\pi$ e π . Na Figura 2 temos os dados referentes à sequência temporal de 0,91 a 2,13 segundos, organizados em três grandes colunas separadas pelas linhas vermelhas. Os diferentes parciais estão aglutinados pelo tempo que duram. Ressaltamos que eles não são estáticos e possuem durações diferentes, apresentando pequenas variações frequenciais no tempo. Por exemplo, o primeiro parcial dura aproximadamente entre 0,91 e 0,94s com frequências oscilando entre 196,85 e 199,66 Hz. Já o parcial que se inicia em 1,79s (coluna central) tem uma duração maior, até 2,14s e com frequências oscilando entre 835,59 e 853,94 Hz. Por meio dessa análise de rastreamento de parciais há detalhamento do comportamento dos parciais no tempo detectados em cada trecho da peça, porém a quantidade de informações de texto gerada é bastante grande. Para os cerca de 6'21" da primeira parte da peça, o arquivo de texto gerado possui 838.858 linhas.

Para uma manipulação mais precisa, exportamos os dados do programa AudioSculpt em um arquivo de texto e o importamos no programa *Excel*, organizando os dados em uma tabela. Assim, pudemos gerar um gráfico tendo no Eixo X o tempo e, no Eixo Y, as frequências dos parciais, criando uma nova representação gráfica da parte 1 da obra (Figura 3).

FIGURA 3 – Representação Tempo (segundos) X Frequências (Hertz) da parte 1 de *Substâncias moldáveis – versão 2*. Construção da representação gráfica feita no programa *Excel*, a partir da análise de rastreamento de parciais.



Fonte: Autor.

A representação gráfica apresentada na Figura 3 fornece novas informações nas quais embasamos nossas considerações sobre a parte 1 de *Substâncias moldáveis – versão 2*. A partir da visualização da Figura 3, é possível dividir o espaço frequencial audível em três regiões nas quais se concentram os parciais presentes nessa parte. A primeira região abrange as frequências entre 20 e cerca de 5.500 Hz, delimitada pela cor vermelha. A segunda região se concentra na banda frequencial entre 5.500 e 13.000 Hz, delimitada pela cor azul. A terceira região se situa na banda entre 13.000 e 22.000 Hz, delimitada pela cor laranja. Aqui, consideramos os dados acústicos brutos fornecidos pelo rastreamento de parciais, ainda que nossa audição em média se situe em uma banda levemente mais estreita, entre 20 e 20.000 Hz.

A partir da segmentação por regiões frequenciais torna-se possível realizar uma nova segmentação temporal dentro da parte 1, em três partes. A parte 1A se encontra entre 0 e 57'' da Figura 3 (25'' e 1'22'' da duração real da peça, somando-se o gesto inicial de 25''). Nessa parte temos parciais presentes nas regiões frequenciais 1 e 2. A parte 1B, que apresenta maior densidade textural, com parciais presentes nas regiões frequenciais 1, 2 e 3, está compreendida entre 57'' e 3'48'' da Figura 3 (1'22'' e 4'13'' da duração real da peça). A parte 1C, com parciais pertencentes às regiões frequenciais 1 e 2 (majoritariamente na região 1 e leves resquícios na região 3), tem duração entre 3'48'' e 6'21'' da Figura 3 (4'13'' e 6'46'' da duração real da peça). Na Tabela 1 organizamos as informações segmentação formal da parte 1.

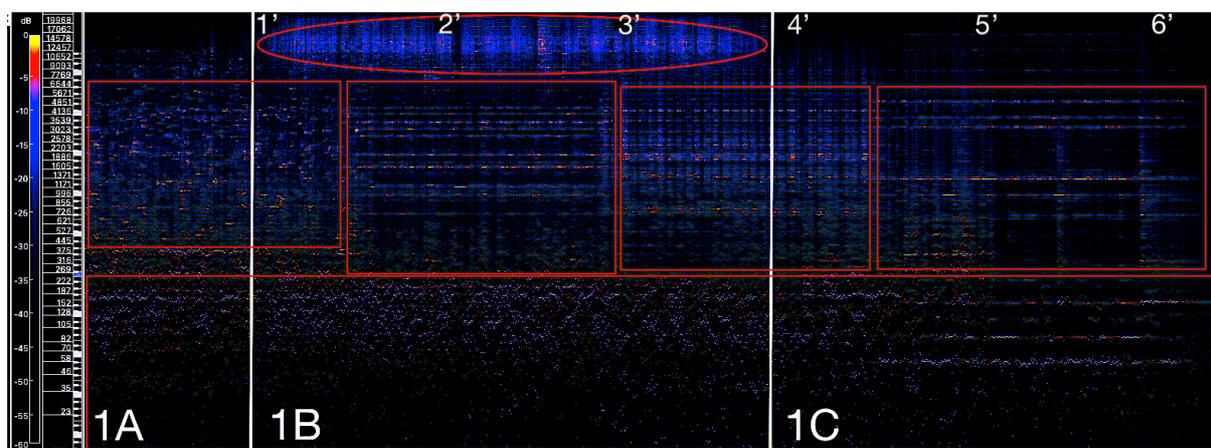
TABELA 1 – Segmentação da parte 1 de *Substâncias moldáveis – versão 2*, em subseções.

Partes (subseções)	Duração da parte	Duração real	Regiões frequenciais
1A	0'' – 57''	25'' – 1'22''	1 e 2
1B	57'' – 3'48''	1'22'' – 4'13''	1, 2 e 3
1C	3'48'' – 6'21''	4'13'' – 6'46''	1, 2 e 3 (resquícios)

Fonte: Autor.

Uma outra possibilidade de representação que permite a visualização em detalhes das texturas e massas sonoras em um trecho musical é a *peak frequency analysis* (análise de frequências de pico do programa Sonic Visualiser. Através dela, podemos ver os parciais que estão presentes no áudio analisado dentro do espectro de frequências audível, além da intensidade deles, sendo as cores vermelha e amarela mais intensas e os tons azulados menos intensos. Na Figura 4 apresentamos esta representação gráfica referente à parte 1 de *Substâncias moldáveis – versão 2*. A segmentação desta seção em 3 partes é mantida (1A, 1B e 1C), porém é dado destaque às texturas diferentes que compõem a massa sonora, nas regiões frequenciais grave, média e aguda. Diferentemente da representação da Figura 3 (de maneira linear), na Figura 4 as frequências estão distribuídas de forma logarítmica. Principalmente na região média é possível perceber 4 texturas diferentes em relação ao seu conteúdo espectral, que perpassam as divisões formais em subseções.

FIGURA 4 – Representação gráfica da análise de frequências de pico da parte 1 de *Substâncias moldáveis – versão 2*, realizada no programa Sonic Visualiser. A segmentação em 3 partes é mantida e é dado destaque às diferentes texturas que compõem a massa sonora em cada trecho.



Fonte: Autor.

Em uma segunda etapa, retomando a segmentação formal apresentada e a análise por rastreamento de parciais, partimos para a verificação de quais parciais estão presentes em cada uma dessas subseções. Poderíamos aqui utilizar diferentes métodos para essa finalidade, como calcular uma média a partir de todos os dados frequenciais presentes em cada momento ou fazer uma estatística de quais parciais estão presentes reiteradamente em cada subseção. Nossa opção, por outro lado, foi escolher momentos específicos de cada subseção e aplicar o método da síntese instrumental (GRISEY, 2008) a fim de estabelecer uma correspondência entre parciais encontrados e alturas musicais. Esse procedimento foi adotado com o objetivo de compreender uma possível harmonia de cada trecho, ao invés de basearmos nossa análise totalmente em valores estatísticos de frequências (outra metodologia possível).

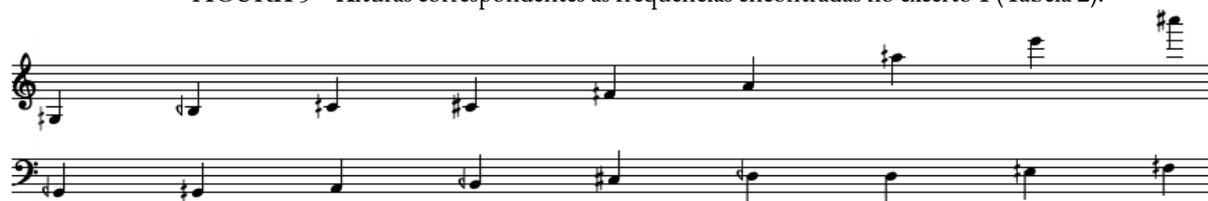
Foram escolhidos para análise os instantes de 47”, 1’40” e 4’36”, correspondentes às três subseções 1A, 1B e 1C. Os valores frequenciais dos parciais e a correspondência em alturas musicais, com divisão em quartos de tom, estão na Tabela 2 e Figuras 5, 6 e 7 a seguir⁶.

TABELA 2– Parciais encontrados em três trechos específicos das subseções 1A, 1B e 1C.

Excerto	Tempo	Parciais encontrados (Hz.)
1	47”	94,6; 101,49; 109,18; 137,6; 140,94; 148; 168,21; 181,88; 203,74; 241,65; 271,23; 273,97; 361,71; 446,27; 900; 1316,81; 2210.
2	1’40”	30,03; 48,96; 54,21; 60,47; 73,56; 107,17; 113,41; 130,25; 150,37; 162,8; 190,55; 203,78; 211,56; 222,35; 230,83; 249,87; 263,93; 515,09; 559,2; 652,66; 782,59; 831,34; 947,28; 1565,19; 1813,56; 1878,36.
3	4’36”	56,76; 60,48; 63,46; 117,47; 122,3; 141,8; 148,15; 161,02; 198,2; 249,38; 297,19; 310,14; 322,88; 426,66; 458,79; 510,59; 659,97; 682,82; 1284, 28; 1364,90; 1403,88; 1577,51.

Fonte: Autor.

FIGURA 5 – Alturas correspondentes às frequências encontradas no excerto 1 (Tabela 2).



Fonte: Autor.

⁶ Algumas relações de oitavas inferiores foram utilizadas no caso de valores frequenciais acima de 2.000 Hz.

FIGURA 6 – Alturas correspondentes às frequências encontradas no excerto 2 (Tabela 2).



Fonte: Autor.

FIGURA 7 – Alturas correspondentes às frequências encontradas no excerto 3 (Tabela 2).



Fonte: Autor.

Após avaliação das alturas apresentadas nas Figuras 5, 6 e 7, apesar das semelhanças gráficas entre as subseções 1A e 1C observadas na Figura 3, conclui-se que a subseção 1A tem menor densidade textural que 1C, pela quantidade de parciais presentes nos momentos temporais analisados. A concentração de parciais na região 1 entre 0 e 5.000 Hz é maior em 1C nesses momentos. Em 1A há maior quantidade de parciais na região 2 (entre 5.000 e 12.000 Hz.) porém o peso perceptivo recai sobre as frequências médias, concentradas na região 1.

O momento avaliado referente à subseção 1B é claramente aquele que apresenta maior quantidade de parciais presentes (corroborando as informações da Figura 3) e, conseqüentemente, apresenta um timbre resultante mais denso que as outras subseções. Nesta subseção há três texturas distintas concentradas nas três regiões frequenciais analisadas, as quais se fundem na escuta produzindo um único timbre resultante.

3.3 Análise da parte 2

A análise da segunda parte da obra (entre 6'46'' e 10'39'') tem como objetivo interpretar o desenvolvimento da massa sonora granular, a qual apresenta variações no tempo ao longo do seu desenvolvimento. Aqui, proporemos métodos diferentes dos empregados na parte 1 da obra, tais como uma análise pormenorizada de parciais e apresentação de possíveis harmonias. A parte convergente da análise das duas partes da obra seria a discussão sobre texturas, timbre e massa sonora. Por meio dos processos que vamos apresentar, também vamos propor a divisão da parte 2 em subseções que serão definidas a partir de diferenciações espectrais presentes.

O paradigma granular tal como proposto por Xenakis nos leva a conceber a harmonia diferentemente da decomposição dos sons pela série de Fourier. Neste modelo, o som é pensado como uma aglutinação de grãos, partículas sonoras elementares, concebidas a partir do quanta acústico de Gabor (XENAKIS, 1992, p. 43-44). Por consequência, desenvolvimento musical no universo granular é pensado de forma diferente, através de variações de parâmetros ligados à massa sonora como densidade, tamanho e bandas de frequência dos grãos, dispersão, transições graduais ou abruptas, entre outras.

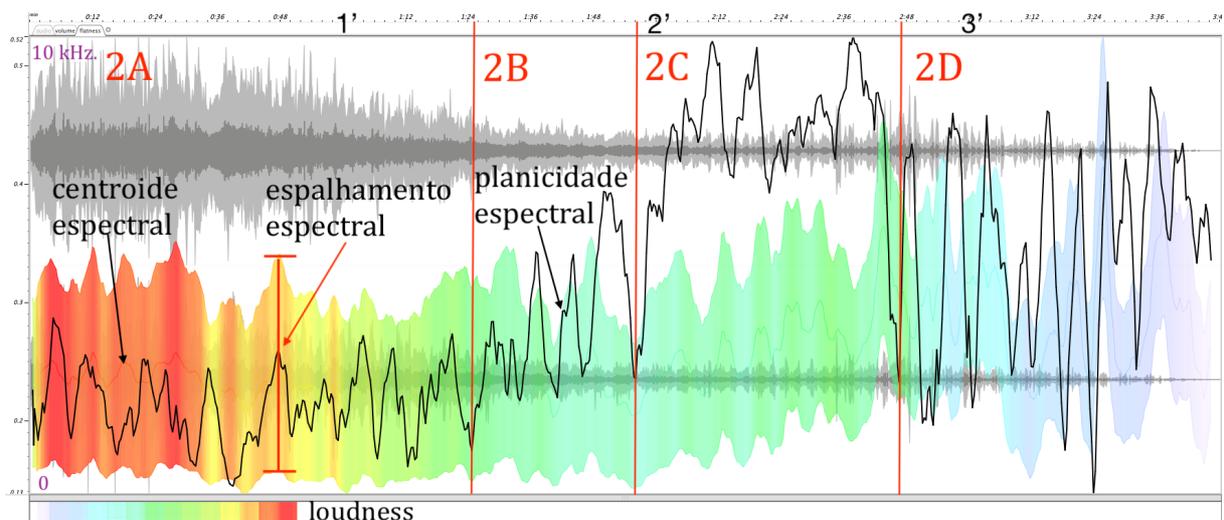
A análise dessa parte está baseada na aplicação de alguns descritores de áudio escolhidos com o intuito de revelar características espectrais das massas sonoras e texturas granulares, além de propor algumas diferenciações entre as subseções apresentadas. Inicialmente, utilizaremos a representação gráfica denominada *volume*, cuja implementação foi descrita em artigos anteriores (ROSSETTI; MANZOLLI, 2017. ROSSETTI; MANZOLLI, 2019a. ROSSETTI; ANTUNES; MANZOLLI, 2020). O volume é uma representação da textura sonora e sua evolução no tempo, sendo primeiramente apresentada por Malt e Jourdan (2009). A representação gráfica do volume está baseada em dados extraídos por três descritores de áudio, sendo dois deles descritores espectrais, centroide espectral (*spectral centroid*) e espalhamento espectral (*spectral spread*), e um descritor psicoacústico, o *loudness*. Para a segmentação dessa parte, combinaremos a representação do volume com a curva de planicidade espectral (*spectral flatness*).

Aqui não iremos apresentar as definições e equações dos descritores utilizados na representação do volume. Essas informações estão disponíveis em Peeters (2004) e Peeters et al.

(2011), que apresentam suas implementações na biblioteca externa *Ircamdescriptors* para Max/Msp, que foi utilizada para os cálculos dos descritores, além de terem sido apresentadas em artigos anteriores em que discutimos a análise musical com descritores de áudio (ROSSETTI; MANZOLLI, 2017. ROSSETTI; TEIXEIRA; MANZOLLI, 2018. ROSSETTI; MANZOLLI, 2019a). As representações gráficas e curvas foram construídas por meio da biblioteca MuBu (SCHNELL et al., 2009). Para as interpretações dos fenômenos acústicos e psicoacústicos da peça que iremos analisar, convém mencionar algumas questões perceptivas a respeito desses descritores. O centroide espectral é o baricentro frequencial onde se localiza a percepção do brilho do espectro; o espalhamento espectral representa a distribuição do espectro ao redor do seu valor médio (o centroide espectral); o *loudness* se refere à percepção psicoacústica da intensidade sonora; e a planicidade espectral define uma escala gradual entre um som puramente tonal (valor 0) e um som totalmente ruidoso (valor 1).

Na Figura 8 apresentamos a representação do volume da parte 2 de *Substâncias moldáveis – versão 2* (em cores), juntamente com a curva de planicidade espectral (em preto) e a representação da forma de onda (em cinza) deste trecho. Os parâmetros de análise utilizados foram *window size* 65.536 e *hop size* 16.384 *samples*.

FIGURA 8 – Representação do volume (colorido), curva de planicidade espectral (em preto) e forma de onda (em cinza) da parte 2 de *Substâncias moldáveis – versão 2*, e uma proposta de segmentação formal para essa parte.



Fonte: Autor.

A representação gráfica apresentada na Figura 8 possui múltiplas camadas de informação e, a partir da combinação entre elas, decidimos pela segmentação formal dessa parte da obra. Em cinza temos a forma de onda, no qual podemos observar o decréscimo gradual do nível de pressão sonora do som até praticamente a sua extinção. A segunda parte da obra se inicia com um nível bastante alto de energia que se mantém no mesmo patamar até cerca de 36". A partir deste ponto o nível de energia apresenta um decréscimo gradual.

A representação do volume, em cores, é definida pela junção dos dados do centroide espectral, espalhamento espectral e *loudness*. A curva do centroide, cuja variação está representada entre 0 e 10.000 Hz. (no eixo Y), se localiza no centro do gráfico colorido e, ao longo dessa parte, apresenta variações para regiões frequenciais com percepções na região média e na região mais aguda do espectro sonoro. Notamos que a partir de 2' a curva do centroide, até então estável em um patamar médio, começa a se encaminhar para regiões mais agudas apresentando, a partir de 2'48", variações significativas no âmbito frequencial. O descritor de espalhamento espectral define os extremos da banda frequencial do volume, sendo somados (limite superior) e subtraídos (limite inferior) ao valor médio do centroide. O *loudness*, em cores, indica a sensação psicoacústica da intensidade sonora, tendo o seu valor em *sones*⁷.

A curva em preto representa dados da planicidade espectral, com o Eixo Y apresentando seus valores mínimo (0,13) e máximo (0,52). Verificamos que até 1'24" esse valor se mantém relativamente constante, entre 0,15 e 0,3. Entre 1'24" e 1'56" esse valor sofre um acréscimo gradual até 0,4, e entre 1'56" e 2'48" ele atinge seus valores máximos que oscilam entre 0,4 e 0,52. A partir de 2'48", tal como o centroide espectral, a planicidade espectral apresenta grandes variações entre valores altos (próximos de 0,5) e valores baixos (entre 0,13 e 0,2).

Para realizarmos a segmentação da parte 2 de *Substâncias moldáveis – versão 2*, em subseções, observamos as variações no tempo dos dados apresentados pelos descritores envolvidos na representação gráfica da Figura 8. Na Tabela 3 apresentamos a evolução dos valores relacionados a cada descritor em cada subseção.

⁷ Nesta escala, o vermelho corresponde a valores entre 17 e 18 sonos, o laranja a 16, amarelo entre 14 e 15, o amarelo esverdeado entre 12 e 13, o verde amarelado a 11, o verde entre 9 e 10, o verde azulado a 8, o azul entre 6 e 7, o lilás entre 4 e 5, o lilás claro entre 2 e 3 e o lilás esbranquiçado entre 0 e 2.

TABELA 3 – Divisão da parte 2 de *Substâncias moldáveis – versão 2* em subseções e suas durações, valores e evolução do centroide espectral, *loudness* e planicidade espectral para cada segmentação.

Subseção	Tempo (seg.)	Centróide (Hz.)	Loudness (sones)	Planicidade
2A	0 a 1'25''	Entre 1.200 e 2.000 Hz. (estável)	Entre 11 e 18	Entre 0,15 e 0,27 (estável)
2B	1'25'' a 1'55''	Entre 1.000 e 2.000 Hz. (estável)	Entre 8 e 10	Entre 0,15 e 0,34 (aumento gradual)
2C	1'55'' a 2'46''	Entre 1.000 e 3.700 Hz. (aumento gradual)	Entre 8 e 10	Entre 0,23 e 0,52 com grande parte do trecho concentrada entre 0,4 e 0,52)
2D	2'46'' a 3'49''	Entre 1.300 e 4.500 Hz. (variações significativas)	Entre 0 e 7	Entre 0,13 e 0,47 (variações significativas)

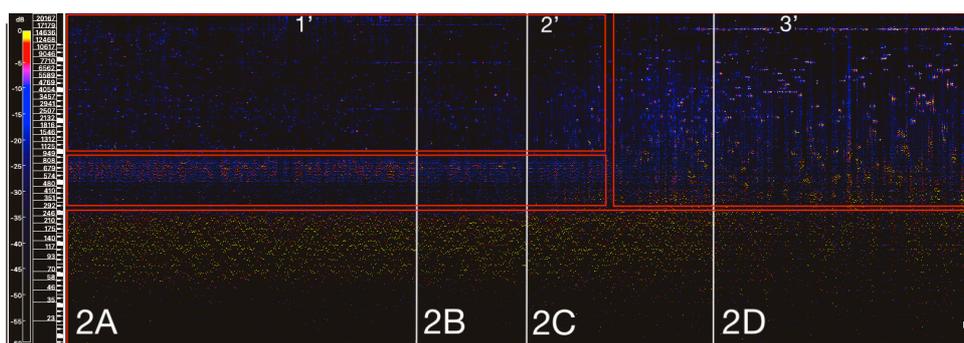
Fonte: Autor.

A percepção das massas sonoras em cada subseção delimitada na Tabela 3 é distinta. Em 2A a massa sonora é densa, com presença de uma textura grave e contínua, que traz o centroide espectral para uma região média, além de uma textura granular descontínua em região frequencial aguda. Em 2B a textura grave e contínua perde intensidade, ainda que se mantenha presente juntamente com a textura granular que apresenta grãos com tamanho um pouco menores com tendência ao ruído, concentrados na região aguda. Em 2C a textura grave desaparece, restando presente a textura granular com tendência à diminuição do tamanho dos grãos, mais ruidosos e concentrados na região aguda. Em 2D a textura granular torna-se mais rarefeita e esparsa, perdendo intensidade aos poucos. Há uma sensação de esvaziamento que leva à extinção gradual da massa sonora.

Ao aplicarmos o descritor referente à representação do sonograma de picos de frequências presente no programa Sonic Visualiser à parte 2 de *Substâncias moldáveis – versão 2*, temos um resultado interessante que pode ser visualizado na Figura 9. A segmentação formal realizada a partir das informações dos descritores de volume e planicidade espectral é mantida, ainda que a as texturas apresentadas atravessem as segmentações. Isto ocorre muito provavelmente porque os descritores de volume e planicidade espectral tenham um reflexo mais direto com a percepção sonora já que trabalham com descritores acústicos e psicoacústicos (estes últimos ponderados por modelos perceptivos), enquanto o sonograma de picos de frequência mede puramente a energia dos parciais, sem relação com o seu resultado perceptivo. Ainda assim, este último é bastante útil para identificarmos o perfil das texturas que compõem a massa sonora analisada.

Por meio dele, notamos que há uma textura grave granular que perpassa as quatro subseções da parte 2, entre por volta de 20 e 250 Hz., com perda gradual de energia. Até a metade da parte 2C, o restante do espectro audível é dividido em 2 texturas distintas, uma na região média entre por volta de 250 e 950 Hz., e outra na região mais aguda, entre 950 e 20.000 Hz., a primeira mais densa e a segunda mais rarefeita. A partir da metade da parte 2C, essas texturas tendem a se fundir em uma só, com características granulares de massa um pouco mais densa e com grandes variações frequenciais. Ainda mantivemos, na parte 2D, uma divisão entre duas texturas, mas, no limite, esta parte poderia ser entendida como uma grande massa única cobrindo todo o espaço frequencial audível.

FIGURA 9 – Representação gráfica da análise de frequências de pico da parte 2 de *Substâncias moldáveis – versão 2* realizada no programa Sonic Visualiser. A segmentação em 4 partes desta seção é mantida e é dado destaque às diferentes texturas que compõem a massa sonora, perpassando as segmentações.



Fonte: Autor.

4. Discussão: Análise comparativa entre as duas partes

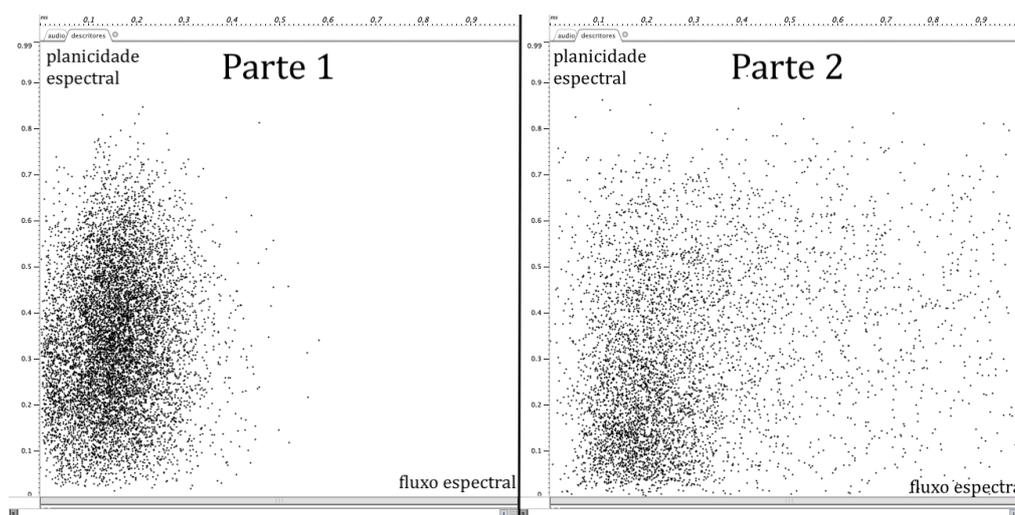
Após uma análise individual de cada uma das duas partes da obra, faremos aqui uma proposta de integração por meio de uma comparação do conteúdo espectral de cada uma delas, através das representações gráficas denominadas vivacidade espectral (*spectral liveness*) (ROSSETTI; MANZOLLI, 2019a, p. 209) e recorrência espectral (*spectral recurrence*) (ROSSETTI; ANTUNES; MANZOLLI, 2020, 164-165)⁸. Para a representação da vivacidade espectral, os descritores que

⁸ Da mesma forma que o descritor de volume, as representações gráficas da vivacidade espectral e recorrência espectral foram elaboradas com utilização da biblioteca MuBu do Max/MSP, e os dados dos descritores foram calculados pela biblioteca *Ircamdescriptors*.

utilizaremos são a planicidade espectral e o fluxo espectral (*spectral flux*), também chamado de variação espectral (*spectral variation*). O fluxo espectral é um descritor que mede a quantidade de variação de energia do espectro no tempo, comparando duas janelas sucessivas de análise. Quanto maior a variação entre essas janelas, maior o seu valor (sempre entre 0 e 1) (PEETERS et al., 2011, p. 2909).

Os dados da variação espectral e da planicidade espectral são apresentados em um gráfico de espaço de fases bidimensional, tendo o fluxo espectral no Eixo X e a planicidade espectral no Eixo Y. O objetivo é interpretar a emergência perceptiva relacionada às informações de variações do conteúdo espectral do trecho analisado. Valores altos do fluxo espectral indicam uma atividade espectral alta e valores baixos indicam uma atividade espectral baixa. Valores altos da planicidade espectral indicam um som ruidoso e valores baixos indicam um som com características tonais e harmônicas. A seguir, na Figura 10, apresentamos as representações gráficas da vivacidade espectral das partes 1 e 2 de *Substâncias moldáveis – versão 2*. Os parâmetros de análise utilizados foram *window size* de 2.048 e *hop size* de 1.024 samples.

FIGURA 10 – Análise comparativa entre as partes 1 e 2 de *Substâncias moldáveis – versão 2* pelo descritor de vivacidade espectral.



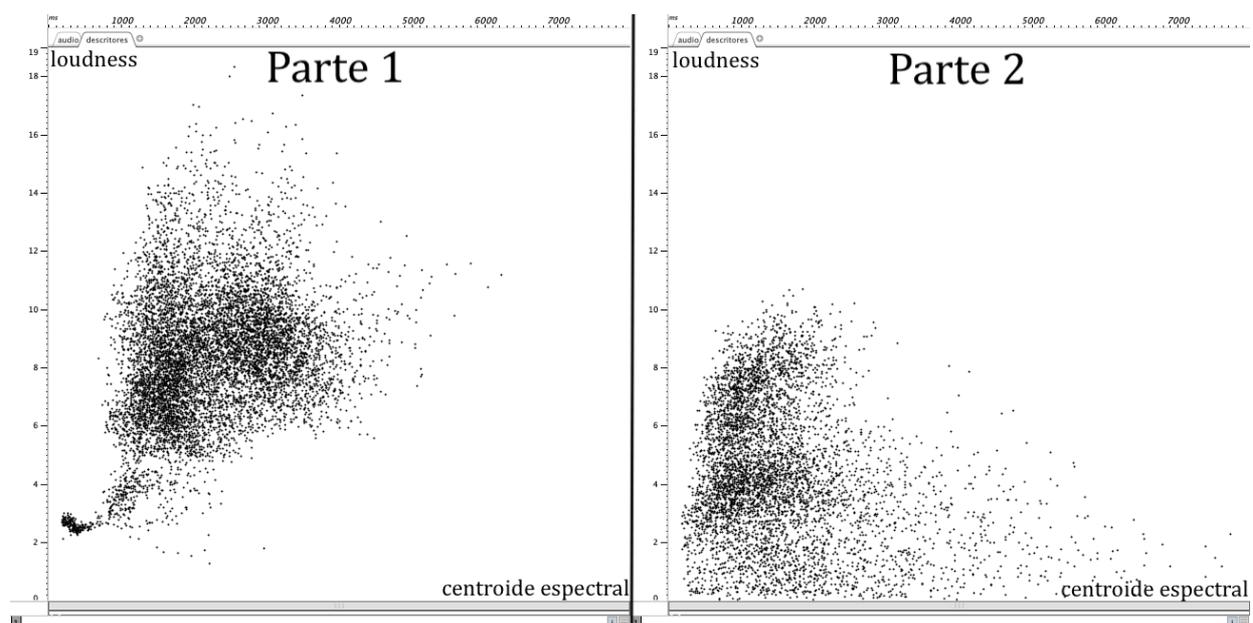
Fonte: Autor.

A partir da representação gráfica da vivacidade espectral das duas partes da obra percebe-se uma maior movimentação e variedade espectral presente na segunda parte. Na primeira parte há uma grande concentração de pontos na região com valores do fluxo espectral entre 0 e 0,4 e valores

da planicidade espectral também entre 0 e 0,4. Portanto, observa-se que na primeira parte a movimentação espectral está bastante concentrada nessa região, indicando uma recorrência de padrões. Por outro lado, na segunda parte os pontos estão bastante espalhados pela área do gráfico, com valores do fluxo espectral oscilando entre 0 e 1, e valores da planicidade espectral entre 0 e 0,8. Há uma leve aglutinação de pontos entre os valores de 0 e 0,3 do fluxo espectral e 0 e 0,5 da planicidade espectral, mas com muito menos recorrências. O que se conclui é que a variação dos componentes espectrais das massas sonoras considerando variações espectrais de energia e de características tonais/ruidosas é muito superior na segunda parte da obra, de caráter granular.

A recorrência espectral, por sua vez, também é apresentada em um gráfico de espaço de fases, com valores dos descritores centroide espectral no Eixo X e *loudness* no Eixo Y. Por meio desta representação gráfica podemos entender a emergência perceptiva da padrões de valores do centro de massa frequencial (centroide espectral) e sensação psicoacústica de intensidade sonora (*loudness*). Desta forma, avaliamos uma possível correlação entre estas características sonoras acústicas e psicoacústicas. A seguir, na Figura 11, apresentamos as representações gráficas de recorrência espectral das partes 1 e 2 de *Substâncias moldáveis – versão 2*. Os parâmetros de análise utilizados foram *window size* de 2.048 e *hop size* de 1.024 *samples*.

FIGURA 11 – Análise comparativa entre as partes 1 e 2 de *Substâncias moldáveis – versão 2*, pelo descritor de recorrência espectral.



Fonte: Autor.

Na primeira parte da obra há um padrão de recorrência de valores demonstrada pela acumulação de pontos com valores do centroide espectral entre 1.000 e 4.000 Hz. e do *loudness* entre 5 e 14 *sones*, além de uma dispersão de pontos pouco significativa que foge a esses valores. Pode-se inferir que nesta parte o conteúdo espectral em relação ao centro de massa frequencial e à percepção da intensidade se concentra em torno desses valores.

Na segunda parte há uma maior dispersão de pontos, principalmente em relação ao centroide espectral que se espalha entre 0 e 8.000 Hz. Para o *loudness* existe uma concentração um pouco maior, com valores oscilando entre 0 e 11 *sones*. Há, portanto, uma menor recorrência de padrões em relação a esses dois descritores na segunda parte da obra, ainda que seja possível perceber uma leve concentração do centroide entre 1.000 e 3.000 Hz. e do *loudness* entre 3 e 10 *sones*.

Em uma comparação, as duas partes são significativamente diferentes enquanto conteúdo espectral. Perceptivamente essa diferença também é marcante e, por meio das representações apresentadas, consegue-se representar quais são essas diferenças através dos dados extraídos pelos descritores utilizados, revelando características específicas do timbre e massas sonoras da obra em sua totalidade. Além das diferenças entre as duas partes, observamos as recorrências de padrões acústicos e psicoacústicos dentro de cada parte.

Percebe-se que a manipulação de variáveis composicionais dentro das possibilidades do paradigma granular pode gerar massas sonoras com grandes variedades de conteúdos espectrais em relação à frequência, intensidade, densidade, variações entre som tonal e ruído, além de variações espectrais diversas em relação a todos esses parâmetros. Dentro do paradigma ondulatório obviamente podemos realizar variações semelhantes em termos de intensidades e criação de massas sonoras diversas, por exemplo, com diferentes graus de harmonicidade e inarmonicidade. Porém, ao que foi observado, o modelo sonoro baseado na sobreposição de parciais a partir de uma frequência fundamental tende a trazer os valores do centroide espectral para regiões médias devido ao peso perceptivo das frequências próximas a essa região. Por outro lado, para criar massas de parciais cujo baricentro se encontre em regiões frequenciais mais agudas, todo um cuidado composicional deve ser observado, evitando a utilização de fundamentais localizadas em regiões médio-graves.

5. Considerações sobre processos de composição, análise e interpretação de dados.

Neste artigo procuramos dar uma possível leitura sobre a inter-relação entre processos de composição e de análise musical, na medida que argumentamos sobre a existência de uma mútua influência de um sobre outro. Em trabalhos anteriores abordamos o processo criativo da obra *Substâncias moldáveis – versão 2* e, neste artigo, focamos principalmente nos processos analíticos. O suporte computacional foi tratado como o meio em que ambos os processos se encontram.

A Transformada de Fourier (FFT) pode ser pensada, em muitos casos, como o ponto de encontro dos processos de composição e análise com suporte computacional, já que é uma operação comum a ferramentas utilizadas nas duas atividades. Na composição, ela é a base de processos como *vocoder* de fase, convolução, síntese cruzada e tantos outros processos baseados em análises tempo-frequência e ressíntese. Na análise, os descritores de áudio se utilizam da FFT para o cálculo dos seus valores, sejam eles harmônicos, temporais, espectrais, de intensidade etc. (ROSSETTI; MANZOLLI, 2017). O paradigma granular, em sua origem, se distancia da série de Fourier como concepção do som, ainda que as massas sonoras geradas possam ser analisadas por descritores que se baseiam nessa operação. A diferença que se interpõe ocorre na interpretação dos dados e sua relação com os fenômenos sonoros.

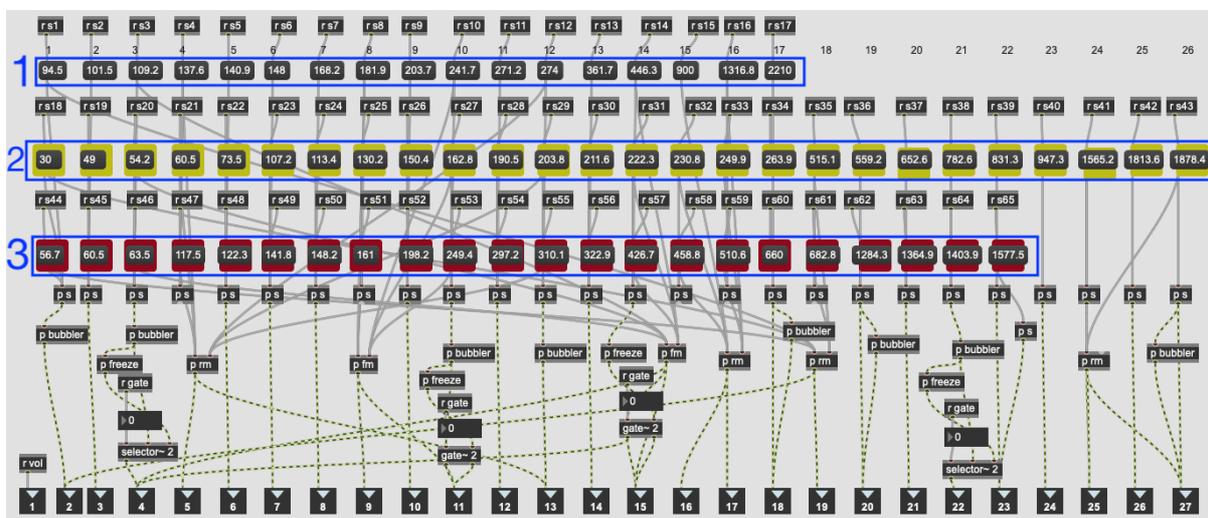
A autoanálise, nos termos que foi apresentada neste trabalho, cria uma aproximação entre os processos de composição e análise, enfatizando uma pesquisa metodológica das abordagens utilizadas nestas atividades. Assim, o ciclo que se forma entre o fazer para compreender e o compreender para fazer ganha destaque, em que a prática e reflexão sobre ela se somam, gerando novas possibilidades e agenciamentos.

Logo, a pergunta colocada logo no início que guia este trabalho tem o seu conteúdo confirmado pelas etapas teóricas e metodológicas realizadas posteriormente. Composição e análise, dentro de um contexto de pesquisa acadêmica (em outras áreas certamente é diferente), podem formar um sistema que se retroalimenta e se transforma constantemente, a partir de novas e abordagens composicionais criativas e novos métodos de análise, compartilhando os resultados que são atingidos. Nenhum(a) compositor(a) é sempre o(a) mesmo(a), assim como nenhum(a) analista também utiliza eternamente as mesmas abordagens e métodos. Seguramente as inter-relações entre as duas áreas contribuem para isso.

Como exemplo da inter-relação e retroalimentação dos processos de análise e composição abordados ao longo do artigo, temos a utilização das frequências dos três excertos da parte 1 de *Substâncias moldáveis – versão 2* (apresentadas na Tabela 2) em diversos processos de síntese (aditiva, granular, modulação em anel, modulação por frequência) em uma nova obra eletroacústica denominada *Catástrofes* (2023). Sem entrar em detalhes analíticos desta nova peça, as vozes das diferentes sínteses realizadas são adicionadas gradualmente à textura global. A peça é estruturada a partir de 3 texturas principais (decorrentes da análise dos 3 excertos presentes na Tabela 2), e a transição entre estas texturas é realizada gradualmente, a partir da ideia de interpolação de timbres (SAARIAHO, 1987. GRISEY 1998, In GRISEY, 2008).

Catástrofes foi inteiramente programada em um *patch* do programa Max/MSP, cujo *subpatch* da síntese apresentamos na Figura 12, a seguir. Observamos nos retângulos em azul numerados de 1 a 3 as frequências relativas aos excertos de mesma numeração presentes na Figura 2, indicando os 3 momentos da peça. As transições entre estes momentos são feitas de forma gradual, de modo que um oscilador do excerto anterior é retirado enquanto um oscilador da frequência do novo excerto é adicionado à textura global. Na escuta da peça percebe-se, a partir deste movimento espectral, o surgimento de fenômenos psicoacústicos como diferentes níveis de rugosidade e batimentos. O estudo destes fenômenos nesta peça serão objeto de um futuro projeto de análise.

FIGURA 12 – *Subpatch* da obra *Catástrofes* (2023), contendo diferentes tipos de síntese. As frequências utilizadas nas diferentes partes da obra são decorrentes da análise da parte 1 de *Substâncias moldáveis – versão 2*.



Fonte: Autor.

Os métodos analíticos utilizados também são variados e se transformam ao logo do tempo, corroborando a hipótese colocada. O discernimento de escolha das ferramentas de análise é algo essencial para a obtenção de um resultado consistente que dê pistas para a resposta da problemática colocada. Cada descritor de áudio, por exemplo, é específico para revelar uma qualidade específica da sonoridade ou timbre analisado, portanto a escolha de um determinado descritor deve acontecer diretamente relacionada às características sonoras e tímbricas da obra em questão.

A contribuição que o suporte computacional pode fornecer no campo da análise musical vai além do desenvolvimento de ferramentas e representações gráficas, que obviamente têm a sua importância na abordagem de fenômenos acústicos, psicoacústicos e emergentes. As informações que os descritores nos fornecem são dados brutos. A contribuição musicológica consiste em dissecar esses dados e oferecer uma interpretação possível sobre eles, seja em relação à uma teoria musical, aos escritos do compositor, a diferentes interpretações de uma mesma obra, ou a explicações baseadas em fenômenos acústicos e psicoacústicos. Além disso, os descritores podem fornecer dados referentes a fenômenos emergentes que fogem à notação do texto musical (partitura) e se revelam exclusivamente na(s) performance(s). Nestes casos, uma mediação entre uma análise da partitura e uma análise por descritores de áudio é bastante pertinente.

Ademais, os dados fornecidos pelas ferramentas computacionais de análise, quando observada uma metodologia eficiente, são objetivos e podem ser de extrema relevância para a compreensão de um detalhe de uma passagem musical específica. A partir desses dados objetivos, a interpretação do(a) musicólogo(a) pode levar a diferentes caminhos, a depender das hipóteses de análise apresentadas. Dessa forma, as premissas de embasamento das análises se fazem relevantes.

Nos próximos trabalhos realizaremos análises com suporte computacional de obras musicais de compositores e compositoras mediando informações extraídas da gravação do áudio pelos descritores, dados obtidos na partitura (quando houver) e informações sobre o processo criativo das mesmas. Todo esse material a ser analisado nos permitirá, como afirmou Delalande (2019), realizar um trabalho analítico “além das notas”. Da mesma maneira, os dados e conclusões da análise implementada neste trabalho pode nos fornecer materiais, ideias e hipóteses a serem testadas em novos trabalhos composicionais para formações diversas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Grupo de Pesquisa do CNPq Muscom – Criação, Análise e Performance Musical com Suporte Computacional (UFMT-CNPq) e aos revisores anônimos deste trabalho que forneceram importantes críticas e sugestões para o seu aprimoramento.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, Christine; DI SCIPIO, Agostino. Dynamic Networks of Sonic Interactions: An Interview with Agostino Di Scipio. *Computer Music Journal*, v. 29, p. 11-28, 2005.
- ASHBY, William R. *Introdução à cibernética*. São Paulo: Perspectiva, 1970.
- AUDIOSCULPT. *AudioSculpt | Ircam Forum*. Disponível em: <<https://forum.ircam.fr/projects/detail/audiosculpt/>>. Acesso em 17 mar. 2023.
- BOULEZ, Pierre. *Leçons de musique: Points de repère III*. Paris: Christian Bourgois, 2005.
- CYCLING 74. *What is Max? | Cycling '74*. Disponível em: <<https://cycling74.com/products/max>>. Acesso em 17 mar. 2023.
- DELALANDE, François. *La musique au-delà des notes*. Rennes: Presses Universitaires, 2019.
- DI SCIPIO, Agostino. The Synthesis of Environmental Sound Textures by Iterated Nonlinear Functions, and Its Ecological Relevance to Perceptual Modeling. *Journal of New Music Research*, v. 31, n. 2, p. 109-117, 2002.
- DI SCIPIO, Agostino; PRIGNANO, Ignazio. Synthesis by Functional Iterations. A Revitalization of Nonstandard Synthesis. *Journal of New Music Research*, v. 25, p. 31-46, 1996.
- DONIN, Nicolas. A autoanálise, uma alternativa à teorização? Trad. Michelle Agnes Magalhães. *Opus*, v. 20, n. 2, p. 149-200, 2015.
- DUBNOV, Shlomo; TISHBY, Naftali; COHEN, Dalia. Polyspectra as Measures of Sound Texture and Timbre. *Journal of New Music Research*, v. 26, p. 277-314, 1997.
- EANALYSIS. *EAnalysis – Pierre Couprie*. Disponível em: <http://logiciels.pierrecouprie.fr/?page_id=402>. Acesso em 17 mar. 2023.
- GRISEY, Gérard. Structuration des timbres dans la musique instrumentale. In GRISEY, Gérard. *Écrits ou l'invention de la musique spectrale*. Paris: Éditions MF, 2008, p. 89-120.
- HELMHOLTZ, Hermann. *On the Sensations of the Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music*. Nova Iorque: Dover, 1954.
- HILLER, Lejaren; ISAACSON, Leonard. *Experimental Music: Composition with an Electronic Computer*. Nova York: McGraw Hill, 1959.

HURON, David. (1999). The New Empiricism: Systematic Musicology in a Postmodern Age. *In: Lecture 3 from the 1999 Ernest Bloch Lectures*. Disponível em <<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=77c14e69171bd0d14b45b3fe3f0bb565a330616d>> Acesso: 27/12/2022.

LACHENMANN, Helmut. *Écrits, entretiens ou correspondances*. Genebra: Contrechamps, 2017.

LIGETI, György. *Neuf essais sur la musique*. Genebra: Contrechamps, 2010.

MALT, Mikhail; JOURDAN, Emmanuel. Le “BSTD” – Une représentation graphique de la brillance et de l'écart type spectral, comme possible représentation de l'évolution du timbre sonore. *In: L'analyse musicale aujourd'hui, crise ou (r)évolution? Proceedings...* Strasbourg: SFAM, 2009.

MATHEWS, Max. *The Technology of Computer Music*. Cambridge: The MIT Press, 1969.

MATOSSIAN, Nouritza. *Xenakis*. Londres: Kahn & Averill, 1986.

PARNCUTT, Richard. Musicologia Sistemática: a história e o futuro do ensino acadêmico musical no ocidente. Trad. Josias Matschulat. *Em Pauta*, v. 20, n. 34/3, p. 145-185, 2012.

PARNCUTT, Richard. Systematic Musicology and the History and Future of Western Musical Scholarship. *Journal of Interdisciplinary Music Studies*, v. 1, n. 1, p. 1-32, 2007.

PEETERS, Geoffroy. *A Large Set of Audio Features for Sound Description (Similarity and Classification) in the CUIDADO Project*. Paris: Institut de Recherche et de Coordination Acoustique-Musique (IRCAM), 2004. Disponível em: <http://recherche.ircam.fr/anasyn/peeters/ARTICLES/Peeters_2003_cuidadoaudiofeatures.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2017.

PEETERS, Geoffroy; GIORDANO, Bruno; SUSINI, Patrick; MISDARIIS, Nicolas; MCADAMS, Stephen. The Timbre Toolbox: Extracting Audio Descriptors from Musical Signals. *Journal of Acoustic Society of America*, Melville, v. 130, n. 5, p. 2902-2916, 2011.

PRIGOGINE, Ilya. *O fim das certezas: Tempo, caos e as leis da natureza*. São Paulo: Editora UNESP, 1996.

PURE DATA. *Pure Data—Pd Community Site*. Disponível em: <<https://puredata.info/>>. Acesso em 17 mar. 2023.

OPENMUSIC. OpenMusic | Ircam Forum. Disponível em: <<https://forum.ircam.fr/projects/detail/openmusic/>>. Acesso em 17 mar. 2023.

ROADS, Curtis. *The Computer Music Tutorial*. Cambridge: The MIT Press, 1996.

ROSSETTI, Danilo. Das imagens à criação de formas sonoras - Uma possível epistemologia dos processos de análise e composição com suporte computacional. *Revista Vórtex*, v. 6 n. 2 p. 1-27, 2018.

ROSSETTI, Danilo. *Processos microtemporais de criação sonora, percepção e modulação da forma: uma abordagem analítica e composicional*. Tese (Doutorado em Música). Instituto de Artes, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

ROSSETTI, Danilo; ANTUNES, Micael; MANZOLLI, Jônatas. Compositional Procedures in Electronic Music and the Emergence of Time Continuum. *Organised Sound*, v. 25, n. 2, 2020, p. 156-167.

ROSSETTI, Danilo; ANTUNES, Micael; MANZOLLI, Jônatas. Musical Analysis of Sound Features Emergences Using Acoustic and Psychoacoustic Descriptors. *Música Hodie*, v. 22, 2022, p. 1-36.

ROSSETTI, Danilo; MANZOLLI, Jônatas. Analysis of Granular Acousmatic Music: Representation of sound flux and emergence. *Organised Sound*, v. 24, n. 2, p. 205-215, 2019a.

ROSSETTI, Danilo; MANZOLLI, Jônatas. Creating Timbre in Space: Granular Synthesis and Ambisonics Spatialization Study and Composition. INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC CONFERENCE (45.), New York. *Proceedings...* San Francisco: International Computer Music Association, 2019b.

ROSSETTI, Danilo; MANZOLLI, Jônatas. De Montserrat às ressonâncias do piano: uma análise com descritores de áudio. *Opus*, v. 23, n. 3, p. 193-221, 2017.

ROSSETTI, Danilo; MANZOLLI, Jônatas. Studying the Perception of Sound in Space: Granular Sounds Spatialized in a High-Order Ambisonics System. *Opus*, v. 26 n. 2, p. 1-26, 2020.

ROSSETTI, Danilo; TEIXEIRA, William; MANZOLLI, Jônatas. Emergent Timbre and Extended Techniques in Live-Electronic Music: An Analysis of Desdobramentos do Contínuo Performed by Audio Descriptors. *Musica Hodie*, vol. 18, n. 1, p. 16-30, 2018.

SAARIAHO, Kaija. Timbre and harmony: interpolation of timbral structures. *Contemporary Music Review*, v. 2, n. 1, p. 93-133, 1987.

SCHAEFFER, Pierre. *Traité des objets musicaux: essai interdisciplines*. Paris: Seuil, 1966.

SCHNELL, Norbert. et al. Mubu & Friends – Assembling Tools for Content-Based Real-Time Interactive Audio Processing in Max/MSP. INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC CONFERENCE (35.), 2009, Montreal. *Proceedings...* San Francisco: International Computer Music Association, 2009.

SÈDES, Anne. Méthodologie de la recherche. Apresentação do Seminário *Composition et recherche 2014/2015*. Saint Denis: Université Paris 8, 2014.

SIMONDON, Gilbert. *L'individuation à la lumière des notions de forme et d'information*. Grenoble: Millon, 2005.

SMALLEY, Denis. Spectromorphology: explaining sound-shapes. *Organised Sound*, v. 2, n. 2, p. 107-126, 1997.

SONIC VISUALISER. *Sonic Visualiser*. Disponível em: <<https://www.sonicvisualiser.org/>>. Acesso em 17 mar. 2023.

STOCKHAUSEN, Karlheinz. *Texte zur elektronischen und instrumentalen Musik*. Colônia: DuMont Buchverlag, 1988.

VAGGIONE, Horacio. Articulating Microtime. *Computer Music Journal*, v. 20, n. 2, p. 33-38, 1996.

VAGGIONE, Horacio. Timbre as Syntax. A Spectral Modeling Approach. *Contemporary Music Review*, v. 10, n. 2, p. 73-83, 1994.

VALÉRY, Paul. *Introduction a la méthode de Léonard De Vinci*. 2ª Ed. Paris: Gallimard, 1919.

VINTIADIS, Elly. Emergence. In: *Internet Encyclopedia of Philosophy*, 2013. Disponível em: <https://iep.utm.edu/emergenc/#SSH2aii>, acessada em 30/06/2022.

XENAKIS, Iannis. *Formalized Music: Thought and Mathematics in Composition*. Stuyvesant: Pendragon Press, 1992.

SOBRE OS AUTORES

Danilo Rossetti é professor, pesquisador e compositor. Seu trabalho enfoca o uso da tecnologia e pesquisa interdisciplinar em processos criativos, performances e análises musicais. É autor de peças para diferentes formações instrumentais, acusmáticas, mistas e multimídia (instalações audiovisuais, música, dança e telemática) apresentadas em diversos eventos nacionais e internacionais, além de autor e coautor de vários artigos sobre processos criativos em música e análises musicais. Professor do Departamento de Artes da UFMT e docente colaborador do PPG em Música do IA-UNICAMP, é líder do grupo de pesquisa “Criação, análise e performance musical com suporte computacional” (UFMT/CNPq). É doutor em Música pela UNICAMP com estágio doutoral no CICM da Universidade Paris 8, e realizou pesquisa de pós-doutorado NICS-UNICAMP com apoio da FAPESP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7690-8048>. E-mail: d.a.a.rossetti@gmail.com