

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Música
Programa de Pós-Graduação em Música

Júlio Guatimosim Neves

**Escuta com máquina e o solfejo em processos criativos informados por descritores
de áudio**

Belo Horizonte

2023

Júlio Guatimosim Neves

Escuta com máquina e o solfejo em processos criativos informados por descritores de áudio

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Música, Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial ao título de Mestre em Música (linha: Processos Analíticos e Criativos)

Orientador: José Henrique Padovani

Belo Horizonte

2023

N518e Neves, Júlio Guatimosim.

Escuta com máquina e o solfejo em processos criativos informados por descritores de áudio
[manuscrito] / Júlio Guatimosim Neves. - 2023.
97 f. : il.

Orientador: José Henrique Padovani.

Linha de pesquisa: Processos analíticos e criativos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Música.

Inclui bibliografia.

1. Música - Teses. 2. Som - Registro e reprodução. 3. Solfejo. 4. Composição (Música). 5. Música e tecnologia. I. Padovani, José Henrique. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Música. III. Título.

CDD: 781.6



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE MÚSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÚSICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida pelo aluno **Júlio Guatimosim Neves**, em 29 de setembro de 2023, e aprovada pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:

Prof. Dr. José Henrique Padovani Velloso
Universidade Federal de Minas Gerais
(orientador)

Profa. Dra. Tatiana Olivieri Catanzaro
Universidade de Brasília

Prof. Dr. Rogério Vasconcelos Barbosa
Universidade Federal de Minas Gerais



Documento assinado eletronicamente por **Jose Henrique Padovani Velloso, Professor do Magistério Superior**, em 01/10/2023, às 23:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rogério Vasconcelos Barbosa, Presidente de comissão**, em 02/10/2023, às 09:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tatiana Olivieri Catanzaro, Usuária Externa**, em 08/10/2023, às 09:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2659747** e o código CRC **89C49472**.

Agradecimentos

O projeto de mestrado, que resultou na presente na dissertação, foi iniciado em setembro de 2021, em meio à pandemia do COVID-19. O primeiro ano, que coincidiu com a retomada das atividades acadêmicas e sociais após o período agudo da pandemia, foi um período turbulento de muita ansiedade.

Agradeço imensamente a todos aqueles que, naquela época, apoiaram, incentivaram e foram boas companhias ao longo do meu percurso. Sou grato a meus pais, Inácio e Bárbara, pelo apoio incondicional, a Chico, Márcia e Theo, pela oportunidade de viver e aprender com vocês, a meus irmãos, Carlos e Matheus, pelo companheirismo, e à Maria do Carmo, por todo carinho e suporte.

Sou grato também a meus amigos, André, Deco, Miguel, Bacelar e Thales, que na convivência me ensinam (mesmo que sem querer), nos pequenos e grandes gestos, a ser uma pessoa melhor.

Não poderia deixar de mencionar também minha primeira orientadora, Edite Rocha, que me introduziu com leveza e maestria ao trabalho de produção acadêmica dentro da UFMG, e que me preparou, de uma forma ou de outra, aos desafios que viria a encontrar no mestrado. Agradeço também aos professores Rogério Vasconcelos e Tatiana Catanzaro, que propuseram reflexões extremamente pertinentes na banca de qualificação e de defesa do mestrado.

É provável que talvez não teria conseguido levar ao fim o mestrado se não fosse pela gentileza, compreensão, conselhos e apontamentos de meu orientador, José Henrique Padovani, por quem sou extremamente grato. Tive muita sorte de ter sua companhia e supervisão.

Por fim, agradeço à FAPEMIG, que concedeu a mim uma bolsa de desenvolvimento em ciência, tecnologia e inovação ao longo do período de mestrado pela minha participação no projeto *Estratégias de desenvolvimento, adaptação e aplicação de modelos e técnicas de escuta/aprendizado de máquina em processos analítico-criativos voltados à música instrumental, eletroacústica, audiovisual e interativa*.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo explorar técnicas de análise e visualização de som/áudio como meios ampliação da experiência de escuta em processos criativos. Para tanto, realiza-se uma breve revisão histórica acerca da epistemologia empírica na área da acústica, destacando alguns métodos de visualização sonora desenvolvidos nesse contexto. Relaciona-se os avanços teóricos e tecnológicos decorrentes desse contexto com o surgimento das primeiras máquinas de registro e reprodução sonora na virada do século XIX, assim como o impacto de tecnologias subsequentes em práticas musicais analíticas e criativas.

Nesse contexto, aborda-se algumas questões conceituais e artísticas relacionadas ao termo *escuta de máquina*, que costuma designar práticas de análise de áudio baseadas em processos automatizados de identificação, classificação e acionamento de eventos em composições com sistemas musicais interativos. Propõe-se, para o escopo desta dissertação, a utilização do termo alternativo *escuta com máquina*. Em meio a uma reflexão acerca da experiência de escuta em processos composicionais, o emprego desse termo procura destacar uma centralidade do papel do agente humano em processos de escuta mediada.

Por fim, apresenta-se alguns métodos de visualização de atributos de áudio, desenvolvidos ao longo da pesquisa de mestrado, que resultaram na produção de *rascunhos sonoros*. O princípio de geração e interpretação desses rascunhos integraram processos criativos de duas peças: *Interstício*, para violino e eletrônica em tempo real, e *Sorte*, para violão e sistema interativo audiovisual.

Palavras-chave: escuta de máquina. composição musical. sistemas interativos.

Abstract

The aim of this paper is to explore sound/audio analysis and visualization techniques as a means of broadening the listening experience in creative processes. To this end, a brief historical review of empirical epistemology in the field of acoustics is carried out, highlighting some sound visualization methods developed in this context. The theoretical and technological advances resulting from this context are related to the emergence of the first sound recording and reproduction machines at the turn of the 19th century, as well as the impact of subsequent technologies on analytical and creative musical practices.

In this context, we address some conceptual and artistic issues related to the term *machine listening*, which usually refers to audio analysis practices based on automated processes for identifying, classifying and triggering events in compositions with interactive musical systems. For the purposes of this dissertation, we propose using the alternative term *listening with machines*. In the midst of a reflection on the experience of listening in compositional processes, the use of this term seeks to highlight the centrality of the role of the human agent in mediated listening processes.

Finally, we present some methods for visualizing audio attributes, developed during my master's research, which resulted in the production of *sound sketches*. The principle of generating and interpreting these sketches integrated the creative processes of two pieces: *Interstício*, for violin and real-time electronics, and *Sorte*, for guitar and interactive audiovisual system.

Keywords: machine-listening. music composition. interactive systems.

Sumário

Introdução	11
1 Em busca de um retrato do fenômeno sonoro	15
1.1 A visualidade na epistemologia empírica do som	16
1.2 Relações entre inscrição de sinal e simbólica	22
1.2.1 Primeiros experimentos de registro sonoro	23
1.2.2 Descrição e prescrição do som	27
2 Compondo canais de percepção	31
2.1 Escuta com máquina	32
2.1.1 Descritores de áudio	33
2.1.2 <i>Two Pieces of Listening and Surveillance</i> : interação e autonomia	35
2.1.3 Escuta: sonoridade, imagem e solfejo	38
2.2 Escuta mediada na composição assíncrona	42
2.2.1 Composição com sinais: <i>Les Espaces Acoustiques</i>	42
2.2.2 Composição algorítmica com descritores de áudio	46
3 Criação musical informada por descritores de áudio e associada a formas visuais	51
3.1 Visualização de som/áudio na análise musical	51
3.2 <i>Interstício</i> , para violino e eletrônica em tempo real	56
3.2.1 Aspectos técnicos da geração de um <i>rascunho sonoro</i>	56
3.2.2 Estímulo criativo na análise e interpretação do <i>rascunho sonoro</i>	60
3.3 Experimento alternativo de visualização de dados para processos de composição assíncrona	64
3.4 <i>Sorte</i> , para violão e sistema interativo audiovisual	71
Conclusão	81
Referências Bibliográficas	83
Anexos	89
ANEXO A Partitura de <i>Interstício</i>, para violino e eletrônica em tempo real	91
ANEXO B Partitura de <i>Sorte</i>, para violão e sistema interativo audiovisual	93

Introdução

A motivação inicial para a pesquisa acerca de métodos criativos utilizando técnicas de análise e processamento de áudio veio de um primeiro contato com práticas de *escuta de máquina* para a composição de sistemas interativos. O termo *escuta de máquina* será melhor abordado no capítulo 2 desta dissertação, mas, em meus primeiros contatos com práticas criativas de música interativa, em meados de 2018, ainda não havia refletido conceitualmente sobre o termo e me senti muito atraído pelas possibilidades de expressão por meio de técnicas de interação em tempo real. Desde então, procurei explorar essas possibilidades em performance, compondo três peças para instrumento solo e eletrônica em tempo real e realizando apresentações remotas na época de quarentena da pandemia do Covid-19.

Em meados de 2020, durante minha graduação em Composição na Escola de Música da Universidade Federal de Minas Gerais, realizei uma iniciação científica, sob orientação do Professor José Henrique Padovani, acerca de métodos de orquestração assistida por computador baseada num modelo tecnomórfico de síntese concatenativa (GUATIMOSIM; PADOVANI; GUATIMOSIM, 2021). A partir desse modelo, conseguimos implementar, por meio de descritores de áudio e outros algoritmos, um processo de transcrição automática de áudio que procura gerar partituras de combinações instrumentais com qualidades acústicas semelhantes às de um áudio alvo previamente dado.

Essa pesquisa correspondeu a um primeiro projeto utilizando os princípios de escuta com máquina para a composição assíncrona; ou seja, para o ato de criação de uma peça anteriormente a sua performance. Apesar de atingirmos resultados interessantes, senti-me um pouco restringido em relação às possibilidades composicionais de nosso modelo. Isso deve-se, principalmente, ao grande agenciamento delegado aos algoritmos implementados na geração de partituras, o que deixou, ao meu ver, pouco espaço para a minha própria experimentação criativa.

Ao tentar aplicar a mesma lógica criativa de performances interativas, muito centrada no automatismo e responsividade de sistemas de análise e processamento de áudio, num processo composicional assíncrono, acabei me induzindo a um processo de

composição generativa, o que não era minha intenção inicial.

Dessa constatação, refleti sobre a possibilidade de, ao invés de delegar o processo de transcrição a algoritmos, utilizar a minha própria capacidade de interpretação de dados de descritores de áudio para gerar *rascunhos sonoros*. Dessa forma, optei por uma abordagem mais imaginativa e especulativa acerca desses dados, evitando o manejo mais objetivo e instrumental dessas ferramentas que havia adotado em minha pesquisa de iniciação científica.

Ao pensar em formas de viabilizar o processamento de dados numéricos por um agente humano, deparei-me com duas questões principais: qual técnica de análise utilizar e como apresentar visualmente os dados extraídos por meio dela. Computadores processam facilmente grandes fluxos de dados numéricos. O agente humano, por outro lado, necessita, em muitos casos, de meios de visualização gráficos desses fluxos para que os possam interpretar. Esse processo torna-se, por vezes, permeado por especulações acerca do processo de extração e da relação de dados de atributos acústicos com a experiência de escuta.

A partir de um interesse acerca desse processo e da busca por maiores referências acerca de métodos de visualização sonora, realizamos no primeiro capítulo desta dissertação uma revisão histórica acerca de processos epistemológicos do som baseados em diversos métodos de visualização. A proposta desse capítulo é apresentar um desenvolvimento reflexivo, conceitual e prático na área da acústica, a partir, principalmente, da observação de manifestações sonoras em experimentos empíricos acerca da propagação de ondas. Abordamos, ainda, como esse desenvolvimento está ligado à criação das primeiras máquinas de registro e reprodução sonora. Nesse contexto, apresentamos métodos pioneiros de transcrição e análise de sinais, apresentando problemáticas referentes à noção de registro sonoro e à sua interpretação que permanecem, nas suas devidas proporções, até hoje.

No segundo capítulo, realizamos uma reflexão acerca do termo *escuta de máquina*, abordando questões relativas à ideia de interação e autonomia de sistemas musicais no contexto da performance. Propomos, para o escopo desta dissertação, a utilização do termo alternativo *escuta com máquina*, devido ao seu caráter menos tecnocrático em relação à criação musical com meios de análise e processamento de áudio. Procuramos, com isso, dar maior destaque ao papel do agente humano no processo de escuta. Para tanto, nos

apoiamos em alguns trabalhos teóricos para apresentar perspectivas mais humanas acerca da experiência de escuta que são muitas vezes ignoradas pelo senso comum. Em seguida, tratamos de processos de composição instrumental baseados em métodos de *escuta com máquina*. Abordamos processos pioneiros de composição instrumental informados pelo espectrograma, assim como processos que utilizam de técnicas de análise e processamento de áudio mais recentes, em especial, descritores de áudio.

Por fim, no terceiro capítulo, realizamos uma revisão acerca de métodos de visualização de atributos de áudio para a análise e performance musical. Paralelamente a essa revisão, apresentamos projetos composicionais desenvolvidos ao longo da pesquisa de mestrado, que resultaram no desenvolvimento de métodos alternativos de visualização de áudio e na composição das peças *Interstício*, para violino e eletrônica em tempo real, e *Sorte*, para violão e sistema interativo audiovisual.

1 Em busca de um retrato do fenômeno sonoro

O fenômeno sonoro, enquanto variação de pressão e força mecânica exercida sobre um meio físico, pode ser perceptível por três dos cinco sentidos humanos: o mais comum, naturalmente, é por meio da audição. Outra forma seria por meio do tato, na medida em que variação de pressão causada pela propagação de ondas se reverbera no corpo humano, causando uma sensação somática do som. No caso da visão, contudo, o fenômeno sonoro possui um caráter mais abstrato e sua percepção ocorre de maneira indireta, por meio de manifestações da propagação do som em um meio físico que vibra ou deixa-se modelar de acordo com a variação de pressão. A grande diversidade de representações visuais do fenômeno sonoro produzidas por estes tipos de manifestações físicas propiciou, ao longo de séculos, diferentes perspectivas acerca da natureza do movimento de ondas. Em especial, o movimento ondulatório da água e fenômenos como as *Figuras de Chladni* provocaram estudiosos e pensadores a entender melhor o fenômeno a partir de seus padrões visuais.

No final do século XIX, surgiram os primeiros métodos de registro sonoro baseados no processo de transdução do som em membranas vibratórias, como no caso do fonógrafo e do gramofone. Com base nesse princípio, deu-se início a uma série de desenvolvimentos tecnológicos ao longo do século XX que possibilitaram cada vez melhores condições de registro e reprodução sonora. Na segunda metade do século XX, incorporou-se este movimento tecnológico também ao contexto de grandes inovações técnicas na área da computação que propiciaram, entre outras coisas, formas inéditas e/ou mais eficientes de reprodução e análise de áudio. Neste contexto, a visualização de dados e atributos sonoros tornou-se prática recorrente em certos nichos científicos e artísticos como uma forma de ampliação da percepção sonora.

Este capítulo traça um panorama histórico que destaca o impacto de práticas de visualização do som desde suas formas mais incipientes, concebidas ainda na Grécia antiga, até as técnicas digitais contemporâneas. Reconhece-se, aqui, uma gênese do desenvolvimento técnico-reflexivo acerca de meios de visualização que compõem a base de diversas práticas musicais contemporâneas e, em especial, dos processos composicionais conduzidos em

nossa pesquisa.

Neste contexto, utilizamos o termo do pesquisador Thor Magnusson *inscrição* para nos referirmos à criação de suportes técnicos capazes de registrar, produzir e reproduzir fenômenos acústicos (MAGNUSSON, 2019). Desta forma, pretendemos destacar a influência dos meios tecnológicos sobre nossa forma de percepção do som, visual ou auditiva, e dissertar, nos capítulos 2 e 3, como eles impactam processos artísticos baseados em modos de percepção ampliada por meios técnicos específicos. Seguindo a nomenclatura de Magnusson, empregamos os termos *inscrição simbólica*, *de sinal* e *material* para nos referirmos, respectivamente, à notação musical, ao registro sonoro automatizado e à luteria de instrumentos digitais.

Realizamos alguns paralelos entre procedimentos de *inscrição simbólica* e *de sinal*, mediados por procedimentos de *inscrição material* (luteria digital). Relacionamos essas duas primeiras práticas à dicotomia entre notação descritiva e prescritiva, introduzida pelo musicólogo Charles Seeger em 1958 (SEEGER, 1958). Este autor propõe, como alternativa para a *inscrição simbólica* musical tradicional — então considerada pelo autor como prescritiva —, a utilização de meios de *inscrição de sinal* para a produção de registros idealmente *descritivos* de performances musicais. Procuramos ir além dessa dicotomia colocada por Seeger entre notação prescritiva e descritiva, argumentando que ambos tipos de inscrição possuem suas próprias prerrogativas que condicionam, cada uma a seu modo, uma expansão da experiência sonora. Na prática, aproximamos essas duas formas de inscrição, utilizando-as conjuntamente no desenvolvimento de projetos de composição de performances interativas e audiovisuais, apresentados no terceiro capítulo desta dissertação. Essa aproximação é concretizada com ajuda de meios de *inscrição material*, nomeadamente, a estruturação de programas computacionais que informam os processos composicionais e performáticos a partir de técnicas de análise e visualização sonora.

1.1 A visualidade na epistemologia empírica do som

O aparato auditivo humano é constantemente estimulado por ondas sonoras propagadas no ar ao nosso redor. As ondas na faixa de frequência audível, e com energia suficiente para variar a pressão do ar em torno de nosso tímpano, tornam-se sonoras, e dificilmente se pode evitar que elas sejam ouvidas. Se por um lado ondas sonoras são

invasivas pela via auditiva, para elas serem vistas é necessário um meio visível que seja maleável o suficiente para se deixar modelar pela variação de pressão do ar produzida por elas. Em especial, refiro-me aqui àqueles materiais que, quando bem dispostos, são capazes de gerar estruturas visuais numa dinâmica acessível ao olho humano.

Tomemos como exemplo uma corda de violão. Quando excitada por uma força externa, ela entra num modo de vibração periódico que varia a pressão do ar ao seu redor. Esta variação é processada por nosso aparelho auditivo tornando sensível um fenômeno sonoro. Contudo, o movimento da corda em si, apesar de visível, ocorre numa velocidade que impossibilita o reconhecimento visual de padrões vibratórios que possam indicar uma ou outra característica do som emitido. A taxa de resolução da visão humana não é capaz de identificar esses padrões para uma contemplação mais contundente do fenômeno assim como a audição, que é sensível à nota produzida. Contudo, se essa nota atingir com energia suficiente uma placa de metal coberta por grãos de areia, é possível que o movimento desses grãos forme estruturas de acordo com o modo de vibração da placa que possam ser associadas à frequência da nota emitida. Assim, essa forma de inscrição do som, diretamente relacionada à altura da nota do violão, poderia ser utilizada enquanto fonte alternativa de percepção, mesmo que de maneira limitada.

Para esse processo de visualização é notável a necessidade de um processo de transdução da energia gerada pela variação de pressão do ar (meio não visível) para a placa (meio visível). Isso é, na verdade, um processo fundamental para qualquer processo de *inscrição de sinal* e foi historicamente utilizado em estudos empíricos acerca do som — ou, mais genericamente, de ondas —, baseados na observação de sua manifestação em meios físicos. Esses estudos ajudaram a moldar diversas hipóteses acerca do que consiste o fenômeno sonoro, principalmente antes do desenvolvimento de modelos matemáticos de ondas.

Na Grécia Antiga, por exemplo, havia algumas hipóteses adversas em relação à natureza do som. Dentre os primeiros atomistas gregos, cultivava-se a concepção do som como uma substância. De acordo com Frederick Hunt (HUNT, 1978), há evidências de que Demócrito (460-370 A.C.) teria afirmado que “o ar é fragmentado em pequenos corpos de formas similares e propagam-se com fragmentos de som”¹. Alguns discípulos de Aristóteles também teriam compartilhado a ideia de que “a voz [é] ar que ganha uma forma específica

¹ Tradução nossa.

e é levado adiante”², assim como o filósofo romano Lucrécio, que enunciou a seguinte teoria acerca da emissão vocal: “Quando, portanto, exprimimos essas vozes de nosso interior e as lançamos através da boca, a rápida língua, exímia formadora de palavras, ajunta e molda os sons, na medida em que o movimento dos lábios faz sua parte dando-lhes forma”³. Concepções semelhantes teriam persistido até o século XVI, de quando ainda há registros de referências ao som como “partículas invisíveis” ou “glóbulos de dados sônicos”, enunciadas, respectivamente, por Pierre Gassendi (1592-1655) e Isaac Beeckman (1588-1655) (HUNT, 1978).

Paralelamente, difundiu-se também ainda na antiguidade a ideia de som como uma onda. Essa ideia é muitas vezes vinculada à analogia de uma onda causada por um impacto em uma superfície de água: uma metáfora que foi muito frequentemente usada para ilustrar o movimento de ondas sonoras. Os estóicos da Grécia antiga supostamente entendiam o som como uma força de propagação circular ou esférica no ar, partindo da ideia de que “[se escuta] quando o ar [...] sofre um estímulo, uma vibração que propaga esféricamente e que com isso forma ondas [...], assim como a água em um reservatório forma círculos ondulantes quando é atingida por uma pedra.”⁴. Outros pensadores também possuíam a ideia de som enquanto uma onda, mas divergiam dos estóicos em relação à direção de propagação do som. Marcus Vitruvius Pollis, um arquiteto romano do século I A.C, teria afirmado, por exemplo, que: “Isso [a voz] propaga-se em infinitos números de zonas circulares, [...] assim como quando pedras são jogadas em superfície de água parada [...] mas [...] na água os círculos [...] propagam-se apenas horizontalmente, enquanto a voz propaga-se também verticalmente.”⁵ (HUNT, 1978).

Muitas teorias acerca do som eram acompanhadas de um grande carga imagética composta por metáforas e analogias, ou pela observação e/ou audição de experimentos acerca da propagação e emissão sonora. Isso incluía também o desenvolvimento de dispositivos específicos para realização de experimentos, e nessa exploração tecnológica é notável o surgimento de instrumentos musicais e outros dispositivos auxiliares voltados para a prática musical.

É dito que o filósofo romano Boethius menciona que Pitágoras teria inventado o

² Tradução nossa.

³ Tradução nossa.

⁴ Tradução nossa.

⁵ Tradução nossa.

monocórdio inicialmente para desenvolver seus experimentos acerca da relação entre altura e o comprimento de cordas, o que demonstraria a relação da produção de ferramentas para o estudo de acústica com a organologia de instrumentos musicais. Galileu Galilei (1564-1642), séculos depois, teria desenvolvido um dos primeiros métodos de afinação a partir de seus experimentos acerca da propagação do som. Em seu livro *Dialogues concerning Two New Sciences*, publicado pela primeira vez em 1638, Galileu descreve dois experimentos que não só reforçam a concepção de som como onda, como também introduzem uma relação direta entre a frequência de vibração de um objeto com o som emitido por ele.

O primeiro experimento consistia em uma taça de vidro cheia de água com sua base presa ao fundo de um vaso. Ao esfregar o dedo na borda da taça, fazendo-a vibrar e emitir uma nota, observou-se o surgimento de ondulações que se propagam ao longo da extensão da superfície da água. Quando emitida uma nota uma oitava acima, as ondulações eram divididas em duas menores de mesmo tamanho. A segunda observação de Galileu ocorreu por acidente, ao esfregar uma talhadeira de ferro numa placa de cobre para remover manchas de sua superfície. Ocasionalmente, a ação resultava na emissão de um som com uma altura definida e, neste caso, observava-se o aparecimento de finas listras (supostamente de poeira) paralelas e equidistantes uma da outra na superfície da placa. Ao esfregar mais rapidamente e mais lentamente, produzia-se notas com alturas mais altas e mais baixas, respectivamente. Ao mesmo tempo, as listras se aproximavam e se afastavam uma da outra de forma semelhante às ondulações no experimento anterior (GALILEO, 1954). Essa relação direta entre as formas produzidas pelo som e sua audição teria levado Galileu esse processo para afinar cordas de espinetas (HUNT, 1978).

O físico alemão Ernst Chladni observou o mesmo fenômeno em seus estudos acerca da propagação do som. Em seu trabalho *Entdeckungen über die Theorie des Klanges* (1787), Chladni relata o resultado de experimentos baseados no mesmo princípio físico explorado por Galileu, mas estruturado de uma forma que demonstra por outra perspectiva a manifestação do som em meios físicos. No experimento de Chladni, esfrega-se um arco de violino em uma placa de metal coberta por areia. Na medida que a fricção entre o arco e placa emitem uma altura definida e estável por tempo suficiente, a areia é repelida de alguns lugares e acumulada em outros, onde se localizam os nódulos estacionários do modo de vibração da placa. Desta forma, formam-se estruturas compostas por linhas e curvas

de areia, que vieram a ser chamadas *Figuras de Chladni*. As figuras demonstraram-se tão instigantes que o experimento chegou a ser demonstrado na presença de diversos cientistas e do próprio Napoleão, que teria estabelecido uma recompensa em dinheiro a quem conseguisse explicar o fenômeno matematicamente (HUNT, 1978).

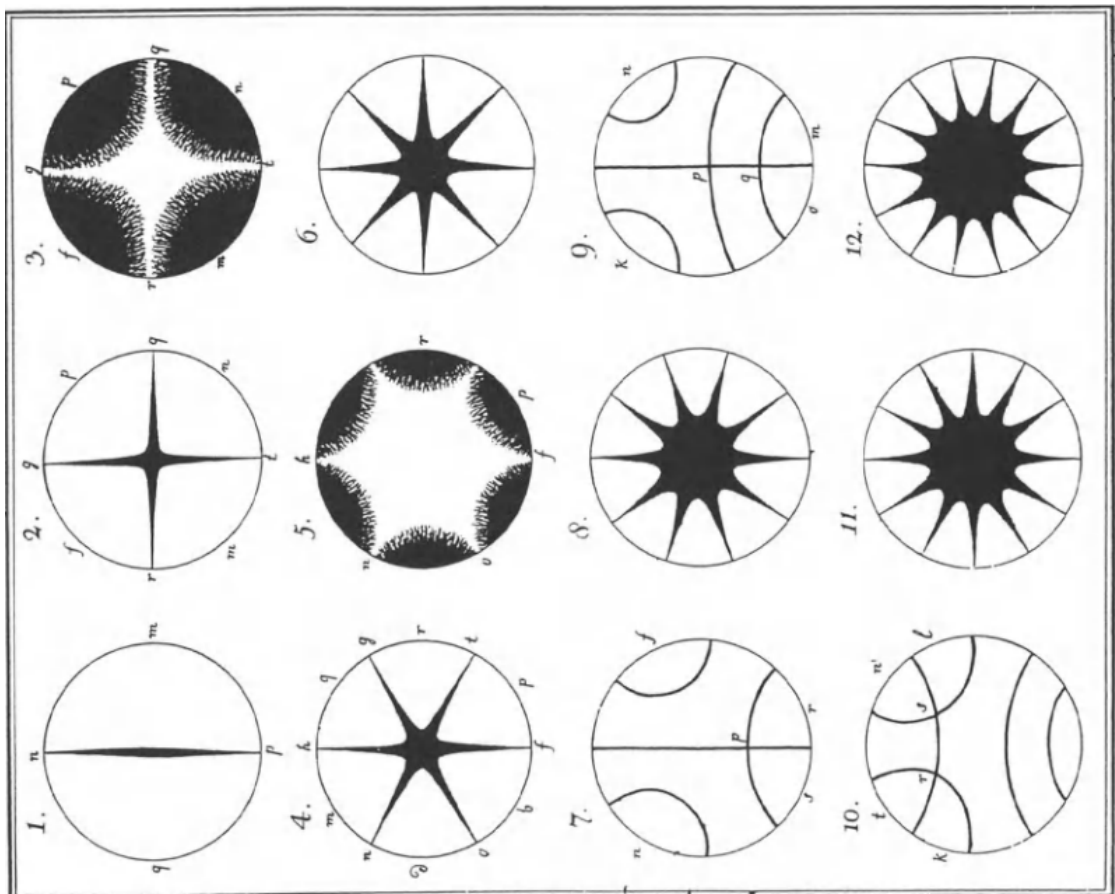


Figura 1 – Ilustração da acumulação de areia sobre placas circulares de acordo com diferentes modos de vibração (ULLMAN, 1996).

Até o início do século XVII, os estudos científicos da física eram predominantemente empíricos (HUNT, 1978). Os estudos de acústica baseavam-se em sua maioria em experimentos com pêndulos, cordas tensionadas e outros métodos de observação do comportamento de ondas, assim como os desenvolvidos por Galileu e Chladni. Com o desenvolvimento do cálculo por parte de Isaac Newton (1642 - 1727) e Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 - 1716), no final do século XVII, tornou-se possível romper certos limites do pensamento matemático que até então dificultavam uma melhor abstração desses fenômenos físicos. Com isso, o entendimento acerca da emissão e propagação de ondas tornou-se, em geral, cada vez mais robusto na comunidade científica. Em especial, com a aplicação da teoria matemática na epistemologia empírica da acústica surgiram novos experimentos

e invenções importantes que impactaram profundamente a forma de percepção do som, tanto sonora quanto visual.

Em 1822, o matemático Joseph Fourier publicou seu trabalho *Théorie Analytique de la Chaleur*. Apesar de tratar especialmente de termodinâmica, esse trabalho representa um marco no estudo da acústica. Nele, Fourier comprova matematicamente que qualquer função, contínua ou descontínua, pode ser expandida numa série de funções de senos; constatação essa que forma a base de conhecimento para a *Transformada de Fourier*, que se tornou fundamental nos métodos atuais de análise de espectro, síntese e ressíntese de áudio.

Décadas mais tarde, em meados de 1850, o cientista alemão Hermann von Helmholtz inventou o que viria a ser chamado *Ressonador de Helmholtz* (PISKO, 1865). Esse dispositivo é uma cápsula com propriedades físicas medidas especialmente para que parciais específicas do som reverberem em seu interior. Esse processo permite uma filtragem calculada que isola parciais e permite um estudo mais aprofundado da composição do som. Mais do que isso, esses ressonadores viabilizam uma forma sistematizada de manipulação do som que influenciou profundamente o desenvolvimento de outras invenções destinadas à manipulação e à visualização do som (VELLOSO, 2013).

Em especial, Rudolph König, um estudante de Helmholtz, utilizaria os fundamentos do ressonador no mecanismo de uma outra invenção, chamada *Manômetro de Chama* (1862). Na sua versão mais desenvolvida, o manômetro é composto por um cone de amplificação ligado a uma série de ressonadores com membranas vibratórias acopladas, que são conectadas a bicos de Busen individuais. Na medida em que as vibrações sonoras penetram os ressonadores, cada um destes emite um parcial específico do som que age sobre sua respectiva membrana num processo de transdução. As membranas vibram e modulam a entrada de gás de seus respectivos bicos de Busen, variando o nível de gás e, conseqüentemente, a chama produzida por cada um deles. Um espelho giratório disposto em frente às chamas atua como um estroboscópio, estendendo o efeito óptico das chamas de forma que estas possam ser observadas por mais tempo (VELLOSO, 2013).

Desta forma, o *Manômetro de Chama* torna possível a observação da amplitude relativa de parciais específicas do espectro do som analisado, permitindo a visualização em série do mesmo fenômeno de filtragem que Helmholtz tornou audível com seus ressonadores.

Neste sentido, o manômetro de chama não é apenas uma das primeiras formas de observação parcial do espectro sonoro, como também uma das primeiras ferramentas estruturada mecanicamente para possibilitar uma dupla percepção do som.

1.2 Relações entre inscrição de sinal e simbólica

Os processos de *inscrição de sinal* observados anteriormente contribuíram para uma expansão do entendimento acerca do som que afetou tanto o meio científico quanto o meio musical. Até meados do século XIX, contudo, as formas de visualização que compunham esse processo de *descobrimto* do som eram perenes e permitiam a observação apenas de comportamentos acústicos instantâneos. Não havia, ainda, formas de inscrição de sinal que permitissem uma observação em tempo diferido do desenvolvimento temporal do som.

Até então, havia apenas formas de inscrições simbólicas do som correspondentes, por exemplo, às práticas de notação musical. É possível entender essas práticas também como formas de visualização sonora, na medida em que a *inscrição simbólica* do som permite, sob o pretexto do discurso musical, a leitura e reprodução aproximada de sons, mesmo que ela dependa de arcabouços culturais específicos e esteja sujeita a diversas variáveis circunstanciais.

A partir do final do século XIX, surgem máquinas de transcrição sonora capazes de produzir formas de visualização a partir do registro do comportamento vibratório de membranas utilizadas como meio de transdução do som. Esse princípio permitiu o desenvolvimento de diversas técnicas de registro baseadas na captação do comportamento físico de ondas sonoras. Para além de servirem de base para métodos de reprodução sonora, esses registros promoveram também, no campo da musicologia, uma idealização acerca do desenvolvimento de meios de registros objetivos do som, independentes de enviesamentos e limitações impostas pela notação musical simbólica.

Em seguida, veremos que, assim como as práticas de inscrição simbólica, as formas de inscrição de sinal desenvolvidas a partir de meados do século XIX também se baseiam em prerrogativas técnicas e circunstanciais que impactam diretamente processos de análise e de reprodução sonora.

1.2.1 Primeiros experimentos de registro sonoro

Dentre os dispositivos de registro sonoro desenvolvidos a partir da segunda metade do século XIX, destaca-se o fonógrafo, inventado por Édouard-Léon Scott em 1857. Esse dispositivo é considerado a primeira máquina capaz de registrar graficamente, mesmo que ainda de forma limitada, variações temporais de pressão no ar. Seu mecanismo é composto basicamente por um cone de captação e amplificação de vibrações sonoras, um cilindro envolto por uma folha coberta de fuligem, e um diafragma (transdutor) disposto entre os dois. Este, quando excitado pelo som amplificado pelo cone, faz vibrar uma cerda que registra as vibrações sonoras sobre a folha coberta de fuligem num movimento em espiral, na medida em que o cilindro envolto pela folha é girado por uma manivela (VELLOSO, 2013).

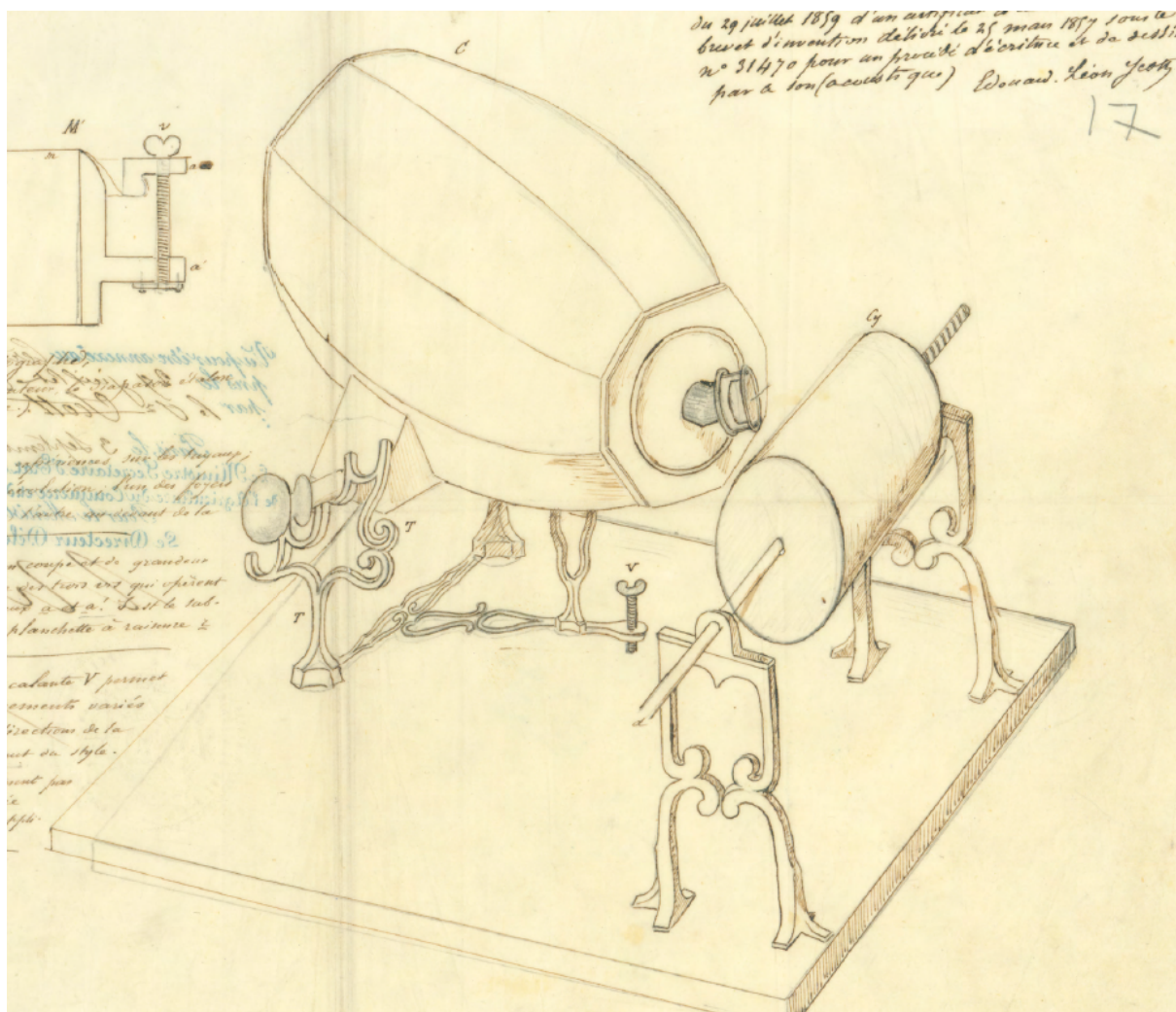


Figura 2 – Ilustração da estrutura mecânica de um fonógrafo (SCOTT, 1857, p.17).

É interessante notar que a forma de inscrição do fonógrafo ainda era voltada

para a produção de um registro, nomeado fotoautograma, e seu registro das formas de ondas eram legíveis, apesar de sua baixa resolução. Isso permitia a indução de certos atributos relativos do som registrado, como frequência, intensidade e timbre, a partir, respectivamente, do período, altura e formato das ondas registradas. Em seu escrito *Principies de Phonoautographie* (1857), Scott descreve alguns critérios para a correlação entre o registro do fonógrafo e o som: “[...] a membrana vibra, a cerda descreve os movimentos pendulares; ela traça figuras largas se o som é intenso, pequenas se é fraco, bem separadas se é grave, próximas se é agudo; trêmulas e assimétricas se o timbre é abafado; simétricas e claras se o timbre é puro”⁶ (FEASTER; SCOTT, 2010, p.9).

Em um outro texto de 1857, Scott detalha suas referências visuais para uma descrição mais aprofundada de timbre:

A questão do timbre me parecia complexa. Ele se apresenta aos meus olhos sob os seguintes aspectos: 1. O mais ou menos redondo ou o mais ou menos aguda [*acute*] é a forma vibratória de acordo com a densidade do meio agitado, 2. O isocronismo ou não-isocronismo das vibrações dependendo se o som é mais harmônico ou ruidoso; 3. O detalhe da vibração, ou seja, a condensação parcial ou a rarefação que pode ser produzida na mesma vibração do fluido (FEASTER; SCOTT, 2010, p.46).⁷

A partir dessas correlações sonoro-visuais, Scott propõe uma série de utilidades para o fonógrafo, dentre elas, a análise da voz humana. Diferentemente dos outros métodos de visualização anteriormente observados, que normalmente estavam atrelados a uma prática científica empírica, esse caso é especialmente interessante pois é uma proposta que oferece meios técnicos para o registro e interpretação de práticas sonoras artísticas. Isso é ilustrado em uma das experimentações de Scott, na qual ele explora uma forma de grafia dos versos de um poema baseada nas formas de ondas contidas no fotoautograma de sua declamação. Com isso, pretendia-se registrar na própria grafia das letras informações relativas à dicção das palavras.

Apesar de Scott estruturar seu método de forma a deixar essas correlações sonoro-visuais mais objetivas — utilizando como referência, por exemplo, o registro de um diapasão a 500 Hz para avaliar a frequência/tonalidade de outros sinais —, sua metodologia de análise do fotoautograma baseava-se muito ainda em especulações acerca do efeito do

⁶ Tradução nossa.

⁷ Tradução nossa.

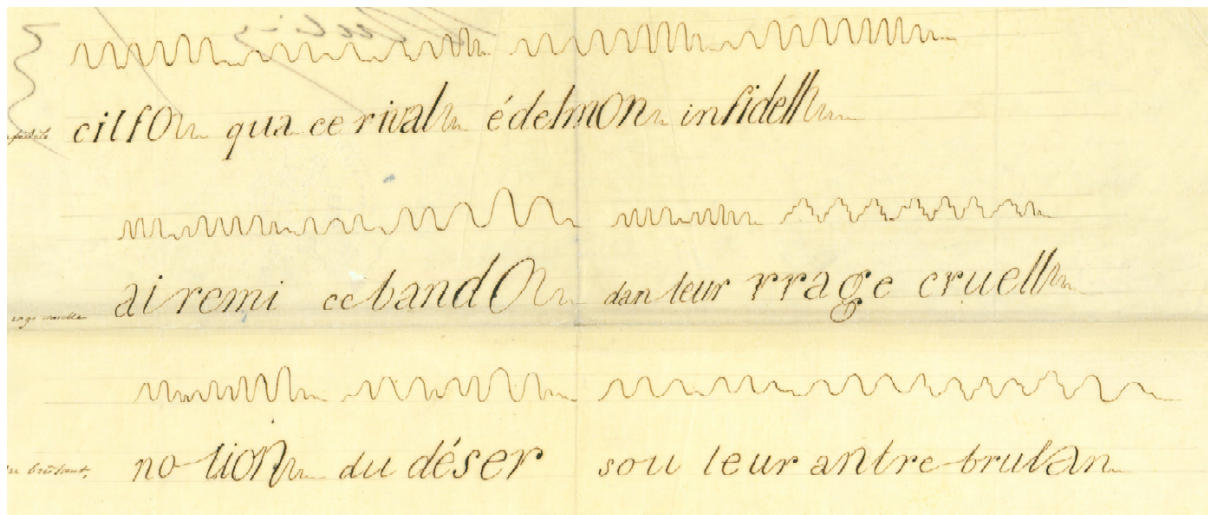


Figura 3 – Caligrafia inspirada por características de formas de onda (SCOTT, 1857, p.19).

som sobre o mecanismo do fonógrafo. Desta forma, a *inscrição de sinal* proposta por Scott escapa à finalidade primeira e gera um segundo efeito; um efeito criativo, na medida que, se utilizada para orientar a declamação de um poema, a grafia proposta por Scott provavelmente induziria o orador a outras inflexões diferentes daquelas registradas pela máquina.

Para além dos efeitos da interpretação humana, destacam-se duas etapas de apreensão do fenômeno sonoro em seu processo de inscrição que promovem essa tendência criativa. A primeira refere-se aos rastros que o meio de inscrição — nesse caso, a mecânica do fonógrafo — imprime sobre seu produto final. A segunda etapa refere-se à forma como Scott procurou fundir a grafia das formas de onda à grafia das letras do alfabeto. Isso pode ser realizado arbitrariamente de muitas outras formas, e cada forma certamente impactaria o leitor de maneiras distintas.

Apesar de inovadora, a grafia desenvolvida por Scott voltada para o registro da articulação da voz humana parece ter tido pouca repercussão em sua época. As possibilidades de visualização sonora ainda eram muito limitadas, não só pela perda de informação no processo de captação, como também pelo tipo de representação em gráfico de amplitude. Uma legibilidade mais adequada da inscrição sonora dependeria de outras técnicas de visualização, como o espectrograma, que só se consolidaria enquanto técnica de análise e visualização na segunda metade do século XX com o advento do áudio digital.

O avanço tecnológico representado pelo fonógrafo incentivou, antes de tudo, uma investigação acerca da reprodução sonora. As invenções que sucederam o fonógrafo

estariam estruturadas para a produção de registros a serem processados por máquinas, e, portanto, a forma de inscrição não precisaria levar em conta uma legibilidade do registro sonoro por parte de um agente humano. Desse contexto, surgiram diversas máquinas de reprodução: o fonógrafo (1877), de Thomas Edison, o gramofone, desenvolvido em parte por Emile Berliner (1851 - 1929) e por Alexander Graham Bell (1847 - 1922), dentre várias outras inventadas ao longo do século XX (VELLOSO, 2013).

O desenvolvimento tecnológico em torno de meios de reprodução do som, apesar de criar também novos meios de percepção, possuía, em geral, o intuito oposto: buscar uma fidelidade ao som, uma mesma percepção daquele momento em que o som está associado diretamente a seu meio de produção original. O potencial artístico das formas de inscrição de sinal emergentes é subestimado, e a noção de alta fidelidade, muito estimulada por um campo mercadológico promissor, enviesa o percurso de desenvolvimento tecnológico para um nicho não tão diverso.

Jonathan Sterne oferece uma reflexão interessante acerca do termo fidelidade no contexto tecnológico de reprodução sonora. O autor aponta que, no âmbito de uma filosofia da mediação, a ideia de *fidelidade sonora* refere-se a uma proximidade entre o produto acústico de tecnologias de reprodução sonora em relação à sonoridade externa idealizada. Neste contexto, a tecnologia de reprodução sonora é um elemento mediador pois permite a reprodução. Idealmente, contudo, o termo *fidelidade sonora* reforça a ideia dessa tecnologia como uma mediadora fugaz (*vanishing mediator*), que nada interfere na qualidade do som reproduzido em relação ao momento em que foi gravado. Procura-se, com isso, ocultar a relação entre o meio de reprodução e o som, condicionando uma relação ilusória entre o som reproduzido e um cenário fictício de produção sonora ao vivo. Na medida em que a mediação é detectada, há uma perda de *fidelidade sonora* (STERNE, 2003, p.218).

Nos capítulos 2 e 3 desta dissertação, apontamos que os meios de registro, processamento e/ou reprodução estão no cerne de práticas composicionais baseadas em técnicas de análise e visualização sonora. O termo *inscrição material*, introduzido no início deste capítulo, refere-se exatamente à produção de meios técnicos que mediam processos criativos, sejam eles instrumentos analógicos ou digitais, ferramentas composicionais ou sistemas interativos. Ao abordar a criação musical junto a processos de formulação e estruturação de meios técnicos que permitem uma ampliação da percepção sonora, colocamos em destaque a existência da mediação, assumindo-a e utilizando-a em favor do processo criativo.

Em meados do século XX, para além das inovações técnicas de reprodução sonora, ocorreram experimentações, no campo da musicologia, que incorporaram o arcabouço técnico de *inscrição de sinal*, até então desenvolvido, em métodos de análise musical. Nesse contexto, destaca-se o trabalho do musicólogo Charles Seeger baseado no *Melograph*: um dispositivo de transcrição, desenvolvido pelo próprio musicólogo, estruturado enquanto um meio analógico de visualização sonora. Para além de uma estimativa de dados acerca da amplitude, o *Melograph* permitia o estudo do espectro sonoro a partir de processos de filtragem e era capaz de produzir uma contagem de *zero crossings*, que ajudava na estimativa de altura e timbre (MAGNUSSON, 2019, p.149). Esse avanço ampliou as possibilidades de análise musical e promoveu novas perspectivas no estudo de músicas estrangeiras à cultura ocidental hegemônica.

1.2.2 Descrição e prescrição do som

Em 1958, Seeger publica seu trabalho *Descriptive and Prescriptive Notation*, no qual ele cunha a dicotomia, no contexto da notação musical, entre uma notação simbólica prescritiva, dependente de convenções gráficas vinculadas a um contexto cultural específico, e uma notação “objetiva” e idealmente descritiva, baseada na transcrição automática por meio de processos de *inscrição de sinal* emergentes na época — em especial, o *Melograph* (MAGNUSSON, 2019).

Seeger reconhece a notação simbólica — neste caso, a notação musical tradicional européia — como uma prática prescritiva vinculada a aspectos culturais específicos, entendendo que ela é estruturada de acordo com diversas convenções notacionais e prerrogativas performáticas que orientam ou prescrevem uma expressão musical específica. De acordo com Seeger, essa característica torna a notação tradicional incapaz de representar expressões musicais estrangeiras não contempladas pelo sistema simbólico da notação musical tradicional. Isso indicaria a necessidade de uma notação mais descritiva, baseada na capacidade de meios técnicos de registrar dados acústicos que poderiam ser utilizados em estudos musicológicos e, com isso, viabilizar abordagens analíticas menos enviesadas de expressões musicais estrangeiras à cultura europeia.

Seeger propõe que essa notação mediada por técnicas de *inscrição de sinal* poderia compor um sistema de transcrição musical versátil capaz de suprir essa urgência. Reconhece-se, contudo, que, para além de objetiva, essa notação deveria ser também legível. No

contexto da reprodução sonora, isso não é uma questão, já que se delega a interpretação do registro sonoro a máquinas de reprodução construídas especificamente para essa finalidade. A partir do momento em que esse mesmo tipo de registro deve ser interpretado por agentes humanos, surge a necessidade de se desenvolver formas alternativas de visualização sonora.

A manutenção de um sistema simbólico na escrita descritiva justifica-se, portanto, pela dificuldade em se representar alguns elementos musicais a partir somente de oscilogramas e formas de onda. Para uma leitura mais fluente desses elementos, é necessário deduzi-los a partir do sinal e traduzi-los em termos legíveis. Em seus experimentos, Seeger aponta que, com seu método de *inscrição de sinal*, é possível identificar elementos como altura e intensidade de forma mais clara e detalhada do que com a notação musical simbólica. Por outro lado, o caráter linear da *inscrição de sinal* dificulta, num primeiro momento, a identificação de eventos musicais independentes e a proporção rítmica entre eles; algo que é mais claramente contemplado por meio da escrita musical tradicional, que já é, em si, uma forma mais segmentada de notação.

Seeger constata, enfim, que a notação ideal deveria ser constituída tanto por gráficos, capazes de detalhar a linearidade da música – em suma, as dinâmicas e inflexões *entre* eventos musicais –, assim como por símbolos musicais, que possam destacar a independência entre esses eventos e delimitar suas estruturas.

Apesar de contribuir para uma legibilidade dos dados, a representação simbólica de dados acústicos diminui a objetividade e detalhamento dessa notação descritiva idealizada. Contudo, esse não é o único fator que relativiza o grau de objetividade. Assim como a concepção de *fidelidade* no campo de desenvolvimento de máquinas de reprodução sonora, a ideia de uma notação descritiva apoia-se no fato de que as formas de *inscrição de sinal* seriam capazes, supostamente, de retratar fielmente fenômenos sonoros, e, com base nesse critério, seria possível fazer análises desses fenômenos a partir de suas transcrições. A descrição ideal, assim como o conceito de fidelidade sonora, também depende do *desaparecimento* do intermédio dos meios de transcrição, assim como expressado anteriormente por Sterne, para que seja alcançada a máxima correlação entre o som ocorrido e o seu registro. No momento em que se assume a impossibilidade disso, a notação descritiva revela-se menos objetiva. Nesse sentido, o processo de interpretação dessa notação é composto também por especulações acerca da relação entre o meio de captura com o fenômeno capturado.

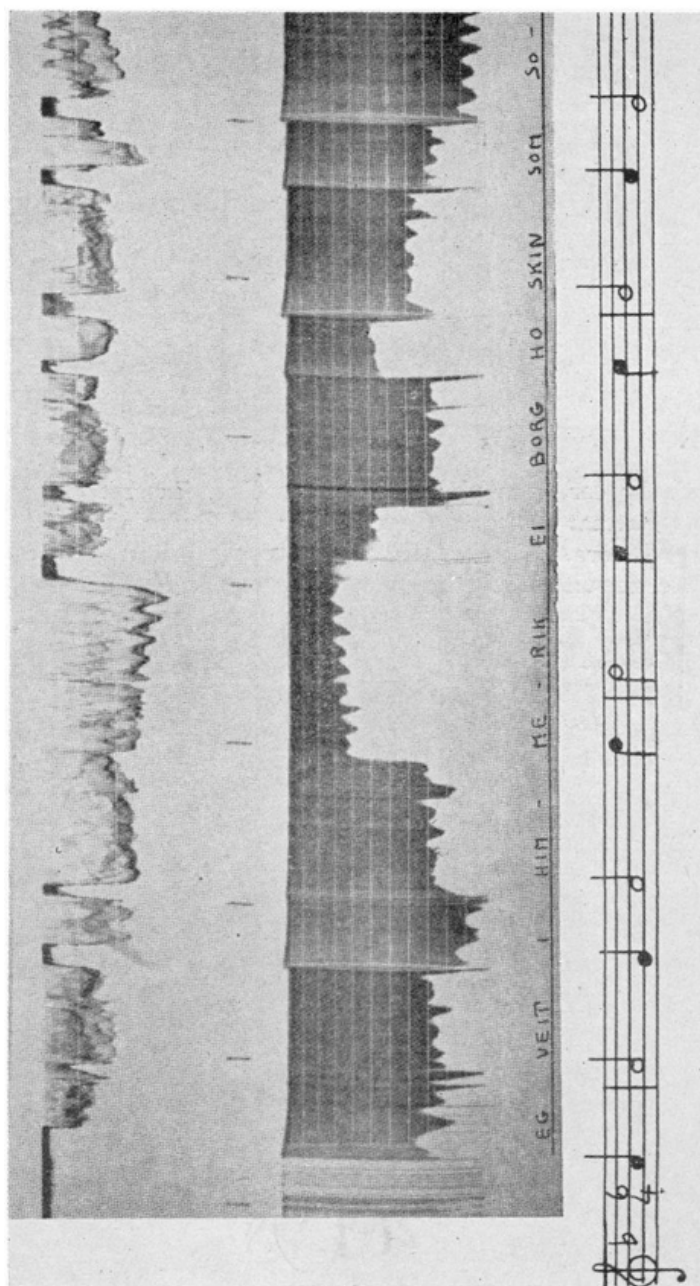


Figura 4 – Exemplo de transcrição híbrida, com elementos de *inscrição de sinal* (oscilogramas) e *inscrição simbólica* (notação musical) (SEEGER, 1958, p.187).

Dito isso, é importante salientar que a dicotomia entre notação prescritiva e descritiva não torna a classificação da escrita musical binária. Se Seeger considerava a notação musical tradicional como prescritiva, mesmo considerando alguns de seus aspectos descritivos, atualmente é comum se referir à mesma notação como predominantemente descritiva (KANNO, 2007). Ao mesmo tempo, se considerarmos o grande impacto dos meios de *inscrição de sinal* no momento da captura do som, assim como a interferência de diversos outros fatores circunstanciais, espera-se que seja necessário um conhecimento acerca das condições e dos parâmetros técnicos da gravação para que se realize uma

interpretação informada do registro descritivo.

Apesar dessas questões, essa característica bivalente da *inscrição de sinal* e *inscrição simbólica*, que engloba aspectos tanto descritivos quanto prescritivos, permite aproximações entre essas duas abordagens que podem ser proveitosas na criação musical. A relação com meios de transcrição automática promove uma percepção sonora mediada por aparatos técnicos que expandem e influenciam o processo de escuta de acordo com o próprio mecanismo do equipamento e os parâmetros de inscrição. A *inscrição simbólica*, por sua vez, representa uma percepção criativa do compositor acerca de sons escutados ou imaginados, que, sob um pretexto musical e expressivo, evoca intenções sonoras próprias do compositor.

Mais à frente nesta dissertação, apresentamos métodos de composição que integram essas duas formas de inscrição, revisando abordagens criativas de alguns compositores do século XX e também apresentando percursos criativos desenvolvidos ao longo de nossa pesquisa.

Neste momento, contudo, aprofundamos nos trabalhos de Scott e Seeger pois suas propostas configuram primeiras estratégias de análise sonora/musical mediadas por meios de transcrição automática. Apesar de englobados nos campos da acústica e musicologia, respectivamente, seus trabalhos ilustram questões relacionadas à utilização de métodos de *inscrição de sinal* que se estendem até hoje. Essas questões são centrais para as reflexões de nossa pesquisa acerca da utilização de meios de *inscrição de sinal* para uma ampliação da percepção e do imaginário sonoro em processos composicionais. Nesse contexto, é preciso reconhecer que a *inscrição de sinal* tem suas próprias prerrogativas técnicas que impactam profundamente processos de escuta mediada. A partir dessa constatação, entende-se que a própria estruturação dos meios de escuta torna-se parte do processo criativo.

Pretendemos demonstrar também como os processos de *descobrimto* do som por parte de cada indivíduo, apresentados na primeira seção deste capítulo acerca da epistemologia empírica do som, se aproximam da busca do compositor por sonoridades em seu processo criativo. Os meios de ampliação da percepção, seja auditiva ou visual, possibilitam novas perspectivas do som que podem estimular teorias acerca dele, mas também afetos e especulações sonoras que influenciam o imaginário e propulsionam o fazer musical.

2 Compondo canais de percepção

A competição tecnológica entre os países em conflito ao longo da primeira e segunda guerra mundiais levaram ao desenvolvimento de tecnologias eletroacústicas de grande importância para a música do século XX. A implementação de gravadores de fita magnética, apresentados inicialmente em 1935 pela Companhia Geral de Eletricidade da Alemanha (*Allgemeine Electricitäts-Gesellschaft*) (WITTJE, 2016, p.156), assim como outros equipamentos elétricos em rádios e estúdios na Europa ampliaram os recursos técnicos voltados à gravação e reprodução sonora. Esses novos objetos técnicos renderam novos meios eletrônicos de processamento fundamentais para o surgimento da música concreta e da música eletrônica no período pós-guerra.

Esses movimentos musicais consolidaram um paradigma de composição musical baseado numa relação mais direta com o som, independente das limitações acústicas e performáticas comuns da música instrumental. Os processos de síntese e o suporte físico da fita magnética promoveram uma maior *plasticidade* ao som gravado, permitindo, com uma versatilidade inédita, diversos procedimentos de manipulação e organização sonora que influenciaram profundamente o imaginário de compositores do pós-guerra em diante (CATANZARO, 2018).

As possibilidades de análise de sinal, contudo, não sofreram, pelo menos num primeiro momento, um avanço tão grande. A fita magnética, apesar de render um manuseio mais direto do registro sonoro, não permitia uma inspeção visual do som, nem servia como base para processos de visualização eficientes. Técnicas de processamento de sinal mais avançadas voltadas à análise começaram a amadurecer apenas na década de 1980 com a consolidação inicial do áudio digital.

Neste capítulo, destacamos a potência criativa de alguns desses métodos de visualização no domínio digital, assim como de algoritmos computacionais para análise de áudio. Salientamos a capacidade do meio digital de integrar procedimentos de captação, produção, análise e visualização de áudio em programas computacionais voltados para processos composicionais. Nestes, consideramos dois momentos de criação: um anterior à performance (assíncrono) e outro durante a performance (síncrono) (BRESSON; CHADABE, 2017).

Assim como no primeiro capítulo, aproveitamos o termo *inscrição material*, cunhado por Magnusson (MAGNUSSON, 2019), para destacar o papel de *instrumento musical* desses programas principalmente em casos de composição assíncrona.

Buscamos, ainda, realizar uma reflexão crítica acerca do termo *escuta de máquina*, que se consolidou na bibliografia como uma referência a práticas de análise e processamento em performances interativas. Utilizamos neste trabalho, sem nenhuma pretensão de estabelecer novas nomenclaturas, uma variação do termo *escuta de máquina* para *escuta com máquina*. Acreditamos que essa mudança de preposição (“com”, no lugar de “de”), sugere uma relação menos tecnocrática e mais dialógica entre compositor(a) e computador, destacando a centralidade do agente humano no processo de escuta, e, por fim, o apoio deste processo para concepções poéticas que permeiam processos criativos.

2.1 Escuta com máquina

Com o surgimento do protocolo MIDI na década de 1980, deu-se início a uma série de pesquisas acerca das possibilidades de processamento de parâmetros musicais em tempo real. Nesse contexto, Robert Rowe introduz o termo *escuta de máquina* para se referir a práticas de interação entre instrumentistas e sistemas computacionais, baseada em procedimentos de extração e processamento de dados em tempo real (ROWE, 1993). Essas práticas, apesar de possibilitarem interações dinâmicas durante a performance, eram, inicialmente, baseadas no processamento de uma pouca variedade de dados simbólicos, obtidos via o protocolo MIDI, como *velocity*, *pitch* e *onset*.

Apesar de Rowe relacionar o termo *escuta de máquina* a uma abordagem técnica/artística que visa modelar a escuta humana em sistemas musicais interativos, os dados obtidos até então, via MIDI, eram apenas vagamente correlacionáveis aos diversos aspectos acústicos e psicoacústicos que compõem a experiência da escuta humana, principalmente no que se refere à nossa capacidade de identificação e classificação de fenômenos sonoros. Além disso, ao centralizar práticas musicais em torno desses parâmetros, os métodos de interação via MIDI induzem a noção de “nota” como o material base para composição musical, em oposição às abordagens da música eletroacústica que tratam a matéria sonora de forma mais plástica a partir de princípios acústicos mais complexos.

Portanto, apesar do termo *escuta de máquina* atribuir a sistemas computacionais

uma habilidade sensorial humana, pode-se considerar, nesse primeiro momento, que ele se refere, sobretudo, a formas de interação em tempo real compostas por agentes computacionais relativamente responsivos, mas condicionados por dados vinculados principalmente à partitura ocidental do que a um modelo da escuta humana (IAZZETTA, 2009).

A partir da década de 1990, na medida que o processamento de áudio tornou-se mais eficiente em sistemas computacionais acessíveis ao público em geral, passou-se a utilizar os mesmos princípios das práticas de *escuta de máquina* com técnicas de análise áudio anteriormente inviáveis devido ao alto processamento computacional envolvido, como no caso da *Short-time Fourier Transform* (STFT). Tais técnicas passaram a permitir uma manipulação mais precisa e controlada do espectro de áudio, e viabilizaram o desenvolvimento mais robusto de espectrogramas e outras formas de se visualizar o fenômeno sonoro. Além disso, foram desenvolvidos outros algoritmos e técnicas de processamento digital de sinais voltadas à extração/recuperação de dados numéricos a partir do áudio. Tais processos, geralmente denominados *descritores de áudio*, permitem extrair dados acerca de atributos específicos do som, ampliando a diversidade de informações passíveis de interpretação analítica e de uso criativo.

Ao longo do anos, o desenvolvimento de uma vasta gama de descritores e de outras técnicas de extração de dados de áudio propulsionou pesquisas no campo de *Music Information Retrieval* acerca de métodos de extração e reconhecimento de padrões numéricos, especialmente para processos automatizados de identificação de eventos sonoros. A partir desse desenvolvimento tecnológico, surgiram diversas áreas baseadas na noção de escuta de máquina, como as de *Auditory Scene Analysis*, *Speech Recognition*, dentre várias outras. Houve também uma produção significativa de métodos de análise e processamento de áudio que passaram a ser utilizadas em práticas musicais, inclusive em performances interativas. Com esse incessante desenvolvimento técnico, tanto de ferramentas de processamento de áudio quanto dos próprios computadores, ampliam-se constantemente as possibilidades musicais de interação em tempo real entre agentes humanos e sistemas computacionais.

2.1.1 Descritores de áudio

Descritores são geralmente divididos em duas categorias: descritores de baixo nível e de alto nível (AMATRIAIN, 2004). Esses primeiros correspondem a algoritmos individuais que extraem dados acústicos de sinais de áudio, como, por exemplo, o descritor

já mencionado de *zero crossing*, que calcula a quantidade de vezes que o sinal de amplitude cruza seu eixo x. Altos valores de *zero crossing* estão normalmente associados a sons agudos ou ruidosos, cujas formas de onda tendem a ser mais curtas e com inclinações muito íngremes, o que resulta num maior número de pontos de cruzamento no eixo x do sinal de amplitude. Apesar dessas associações, os valores de *zero crossings* não indicam nada além de um comportamento acústico do som a partir de sua representação em áudio digital. O mesmo vale para descritores de baixo nível que atuam no domínio da frequência, como *roll-off*, *skewness*, *flatness*, *kurtosis* e *spreadness* (PEETERS, 2004). Estes descritores extraem informações específicas acerca da distribuição espectral do áudio, que, se analisados conjuntamente, podem dar indícios acerca da natureza do áudio processado. Mas, se analisados isoladamente, a interpretação de seus dados torna-se mais abstrata e difícil de correlacionar com atributos sonoros específicos. Quanto maior a variedade de dados para análise, mais detalhadas podem ser as constatações acerca do áudio.

A utilização de conjuntos de descritores de baixo nível permite a estruturação de técnicas de análise mais abrangentes, que correspondem a descritores de alto nível. Estes são capazes de extrair informações correlacionadas a características semânticas, qualitativas e perceptivas do som (AMATRIAIN, 2004, p. 249), e são implementados a partir dos descritores de baixo-nível associados a processos de modelização de habilidades cognitivas e auditivas humanas (OLIVEIRA, 2022, p. 74).

No terceiro capítulo desta dissertação, abordamos o uso de diferentes métodos de análise com descritores, tanto de áudio baixo quanto alto nível, em processos de criação síncronos e assíncronos. Nesse contexto, consideramos processos assíncronos as práticas de criação anteriores à performance – relacionadas aos atos de idealização, concretização e/ou notação de expressões musicais por parte do(a) compositor(a) – e processos de criação síncronos as práticas criativas inerentes à performance, como a execução de partes musicais e a criação de interações entre agentes que compõem uma apresentação musical. Em processos síncronos, principalmente naqueles relacionados a práticas de *escuta de máquina*, utiliza-se frequentemente dados de descritores como parâmetros para dinâmicas de interação entre um sistema computacional e outros agentes musicais.

2.1.2 *Two Pieces of Listening and Surveillance*: interação e autonomia

O termo *escuta de máquina* é muitas vezes associado à experiência da performance/composição síncrona, supostamente pela enorme capacidade de suas práticas de extração/recuperação de dados de criarem interações entre agentes em tempo real. Nesse contexto, costuma-se atribuir uma certa autonomia às máquinas que exercem essas tarefas de processamento de áudio devido ao seu grande nível de automatismo. Acreditamos, contudo, que essa noção de autonomia seja, por vezes, reflexo de um uso irrefletido do termo *escuta de máquina* e que esteja relacionada a uma centralidade delegada às máquinas no processo de escuta durante performances interativas.

No contexto atual e dos últimos anos, nos referimos especialmente a casos nos quais o termo *escuta de máquina* é levado a suas últimas consequências, ao ponto da intervenção humana diretamente sobre o sistema computacional não ser necessária no momento da performance. Nesses casos, o computador possui um comportamento que se autorregula e fecha um ciclo de interação com sonoridades externas de acordo com uma programação prévia.

Um bom exemplo disso é a peça *Two Pieces of Listening and Surveillance*, do compositor Agostino Di Scipio. Em seu trabalho *Dwelling in a field of sonic relationships 'Instrument' and 'listening' in an ecosystemic view of live electronics performance* (SALLIS et al., 2018, p. 17-45), observamos algumas considerações de Di Scipio acerca de sua peça que ilustram princípios de interação de muitas práticas de *escuta de máquina*, além do levantamento de algumas questões relacionadas a práticas de música interativa em geral. Para abordá-las, apresentamos uma breve descrição do início de *Two Pieces of Listening and Surveillance*.

As dinâmicas de interação dessa peça não são compostas apenas por interações entre um sistema computacional de processamento de áudio e um(a) instrumentista – nesse caso, um(a) flautista –, mas também com todo ambiente em que ocorre a performance. Utiliza-se a flauta menos como um instrumento musical, no sentido comum no qual esse objeto normalmente é considerado, e mais como um ressonador: um objeto que isola parciais de sons complexos, assim como os *Ressonadores de Helmholtz*. Nos primeiros minutos de *Two Pieces Pieces of Listening and Surveillance* a flauta está disposta no chão. Os sons ambientes ressoam em seu interior e são amplificados por um microfone

acoplado na flauta. Essa ressonância, quase inaudível em condições normais, é processada digitalmente e tocada de volta por meio de alto-falantes, com um *delay* de 15 segundos, e novamente captada pela flauta.

Para evitar um descontrole da intensidade sonora acumulada durante esse *feedback* da ressonância da flauta, o ganho da captação do microfone é dinamicamente modulado de acordo com a intensidade do som difundido pelos alto-falantes. Além disso, sons captados pelo microfone são processados com técnicas de *pitch shifting* e granulação, que se misturam à cadeia de *feedback* junto ao som natural do ambiente.

Todo o processamento do som captado é controlado por dados extraídos, via descritores de áudio, do ambiente acústico criado nessa dinâmica de interação entre a flauta, ambiente performático e computador. Para o controle do ganho do retorno dos alto-falantes, utiliza-se dados de amplitude. A partir do momento que estes ultrapassam um valor específico, o sistema computacional diminui automaticamente o ganho do microfone, evitando que o *feedback* alcance intensidades altas demais, e interrompe o processamento de *pitch shifting*. Além disso, são utilizados os valores extraídos por meio de um descritor de *temporal density* (mensuração de quantidades de *onset* num período de tempo) para controlar o efeito de granulação. Quando a sonoridade torna-se muito densa, refletindo em altos valores de *temporal density*, o processo de granulação é acionado para rarefazer a textura resultante.

Di Scipio considera, aqui, que o caráter “autônomo” desse momento da performance não se restringe apenas ao computador, mas sim a todo ecossistema da performance. A autonomia, nesse sentido, surge a partir da emergência de uma dinâmica acústica variável, mas dependente do agenciamento de todos elementos do ambiente: desde as características acústicas do local de performance, os sons do público, a flauta e o processamento computacional. Esses apontamentos indicam uma noção menos centralizada de autonomia em um único componente da performance. Ao invés de procurar avaliar o nível de independência do sistema computacional em suas ações, entende-se o computador enquanto parte de um ecossistema, composto por diversos agentes, que faz emergir um ambiente acústico inerente à rede de interações criada. Esta, sim, poderia ser considerada autônoma (SALLIS et al., 2018, p.25).

Em detrimento de um olhar mais focado em um ou outro agente performático, a

noção de “ecossistema de performance” é uma ferramenta potencial para a investigação acerca da relação complexa entre *performer*, instrumento e ambiente. Simon Waters e Di Scipio destacam que, por essa perspectiva, é possível “refutar distinções simplistas entre essas três categorias aparentemente similares”¹ (WATERS, 2013, p.122).

No contexto das práticas de *escuta de máquina*, a noção de autonomia do sistema computacional, principalmente referente à sua capacidade de identificar e classificar sonoridades, surge normalmente em torno do fato do agenciamento humano sobre o sistema computacional ocorrer exclusivamente sobre a estruturação do sistema, e não no momento de performance. Essa noção de autonomia não nos parece tão atrativa, pois parece focar numa afirmação da emancipação do computador em relação ao agente humano no momento de performance, considerando a ausência da regulação humana direta sobre o sistema computacional como algo que conferisse uma independência ao computador nesse contexto. Essa visão, muito centralizada na automatização de tarefas computacionais de análise e resposta, desconsidera, contudo, os outros elementos do ecossistema que atuam e são determinantes para o comportamento das técnicas de análise e processamento de sinal.

Ao deslocar nossa atenção dos componentes do instrumento para a interação entre as partes do ecossistema de performance, nossa atenção passa a ser menos acerca da especificação das qualidades – a instrumentalidade – do termo “instrumento”, permitindo o reconhecimento de que a especialidade dos músicos e o que frequentemente lhes interessa é a maneira com a qual utilizar equipamentos para operar à margem ou fora do esperado (WATERS, 2013, p.123)².

O termo *escuta com máquina* é preferido no contexto de nosso trabalho justamente por considerar mais as relações que engrenam o processo criativo, evitando a análise isolada de agentes que compõem a interação. A máquina, nesse caso, é um meio transdutor alternativo à escuta humana. A leitura de dados acústicos extraídos digitalmente promovem outras perspectivas do som que somam-se ao fenômeno psicoacústico da escuta humana, o que permite a realização de interpretações desses dados passíveis de diversas associações sensoriais e imagéticas, por meio de critérios tanto científicos quanto artísticos. Além disso, a ideia de *escuta de máquina*, no campo da composição musical, refere-se historicamente a processos criativos síncronos, vinculados à criação de interações entre agentes musicais em

¹ Tradução nossa.

² Tradução nossa.

performances mistas, e menos à composição assíncrona instrumental, que também é um dos focos de nossa pesquisa.

2.1.3 Escuta: sonoridade, imagem e solfejo

Ao se tratar de práticas de *escuta com máquina* na composição assíncrona é necessário, antes de tudo, fazer algumas considerações acerca da escuta num sentido mais amplo. Não pretendemos, com isso, propor ou descrever modos de escuta específicos, assim como já realizado por diversos autores (SCHAEFFER, 1966; TRUAX, 2001), nem aprofundar muito nos meandros desse tema vasto. Em especial, propomos uma reflexão acerca de alguns termos vinculados à escuta humana no contexto da criação artística que se relacionam de forma singular com a prática composicional explorada ao longo de nossa pesquisa. Para isso, estabelecemos inicialmente uma noção de escuta que considera não apenas o fenômeno externo, mas também o efeito desse fenômeno sobre o indivíduo que o interpreta.

No primeiro capítulo destacamos uma perspectiva mais cartesiana do som enquanto objeto de estudo da epistemologia empírica da acústica e das ciências exatas. Nesse contexto, observamos tentativas de estudo do som baseadas em abordagens exclusivamente científicas, por meio das quais se procurou parametrizar, mensurar ou abstrair matematicamente o fenômeno sonoro. Com isso, observamos como o descobrimento de algumas de suas propriedades físicas engendraram novas formas de percepção, manipulação e processamento sonoro.

No contexto da composição musical, pretendemos confrontar essa perspectiva com uma noção mais ampla da percepção humana, que vai além de uma forma neutra de tomar consciência da realidade sensível. No caso específico da escuta, referimo-nos a ela como uma ação idiossincrática, modulada pelo sujeito na medida que os estímulos externos interagem com a estrutura emocional e cognitiva do ouvinte. Consideramos que essa escuta engendra uma recepção do som não apenas timpânica ou coclear (CAESAR, 2013), mas também sensível e imaginária (BONAFÉ, 2018, p.3).

Alguns autores utilizam o termo *sonoridade* para se referir à experiência decorrente dessa escuta. Nesse caso, esse termo ganha um outro sentido que se distancia daquele de uma referência simples ao som reduzida a um fenômeno acústico parametrizável, fechado

em si e friamente analisado pelo ouvinte. Nesse sentido amplo de escuta, *sonoridade* teria, para além das forças internas de sua estrutura acústica, uma radiação centrífuga, omnidirecional (CAESAR, 2013, p.3), configurando um estímulo psicoacústico que interage com memórias, afetos e outros sentidos humanos. Por essa perspectiva, *sonoridade* mais se aproxima de uma experiência profunda, que se relaciona com diversas camadas do ser, do que de um fenômeno puramente interpretativo.

A ideia de *sonoridade* é especialmente interessante, pois destaca um aspecto multimodal inerente à escuta humana (BONAFÉ, 2018, p.88) e, por si só, já introduz a noção de uma escuta ampliada (em relação à noção comum de escuta) independente da mediação tecnológica. Por essa perspectiva, a mediação tecnológica — em performances audiovisuais, por exemplo — não estabelece a conexão da escuta com outros sentidos, mas intensifica e interage com a escuta multimodal que já compõe a experiência do ouvinte.

Essa multimodalidade da escuta é bem ilustrada nas relações imagéticas existentes entre audição e visão. Rodolfo Caesar, em seu artigo *A Espessura da Sonoridade: entre o som e a escuta*, indica uma potência imagética no som que vai além de métodos técnicos de visualização sonora. É certo que tais métodos contribuem para uma associação entre som e imagem mais direta, e, ao fazê-lo, também promovem uma perspectiva multimodal do fenômeno acústico. Isso é notável no primeiro capítulo desta dissertação, onde mencionamos técnicas de visualização do som como os experimentos de Galileu Galilei e de Ernest Chladni acerca da propagação de ondas em placas de metal, assim como também as primeiras técnicas de fonografia, introduzidas por Édouard-Léon Scott no final do século XIX. A imagem, assim como sua reprodução e processamento, dependem de um suporte de fixação. Caesar propõe, contudo, que “o som já é imagem mesmo quando os únicos suportes disponíveis são o ar e o cérebro, e quando sua transmissão é da boca à orelha, ou das coisas soantes para a orelha” (CAESAR, 2013, p.5). O suporte da imagem, por essa perspectiva, pode ser também corporal:

Do mesmo jeito que a imagem mental visual é uma imagem mental, a imagem sonora também é, e não se confunde com uma “visualização”, ou sinestesia visual através do sentido da audição. Assim como ver, escutar é sempre formar imagens (CAESAR, 2013, p.5).

Por essa lógica, poderíamos, no âmbito da criação artística, considerar a imaginação como o meio de fixação de imagens referentes a sentidos, afetos e a suas associações e

interações, tanto entre si como com o externo. A mesma direcionalidade multivetorial e omnidirecional do fenômeno da *sonoridade* pode ser entendida também como uma teia de imagens que se forma a partir de estímulos e é expressada -- e, assim como os registros em meios materiais de fixação, *processada* -- para que seja materializada em um produto artístico. Aqui, destacamos o ato composicional enquanto um processo de transdução de estímulos imagéticos de um meio corpóreo e subjetivo para um meio físico acessível aos sentidos de outros indivíduos, tornando forças invisíveis, audíveis, e fixando-as em outros meios, corpóreos (de outros ouvintes) ou materiais, onde continuarão a ser processadas.

A manifestação de *sonoridades* ou *imagens* e a interação destas com toda estrutura cognitiva e emocional do artista torna, certamente, o ato composicional um processo complexo e nebuloso, difícil de se discutir e descrever. Em muitos casos, é perene e irreconstituível: os estímulos emergem, transformam-se e desaparecem num curto espaço de tempo. Não obstante, a expressão artística não é, necessariamente, de todo desordenada. Há um *solfejo* de *imagens* e *sonoridades* que orienta o processo de criação: não um *solfejo* em sua conotação tradicional enquanto um processo de produção sonora (ou solmização) de acordo com um sistema gráfico de símbolos, mas como uma operação de seleção e filtro de forças que compõem o processo criativo (PENHA, 2016):

O solfejo nesse sentido é caracterizado pelas lógicas composicionais, pelas criações sintáticas produtoras de variações das potências e qualidades materiais dos sons, dos instrumentos, dos espaços, das ideias, enfim, dos diversos corpos envolvidos numa enunciação sonora. O solfejo assim deixa de despertar afetos certos e comandar ações determinadas para ele mesmo tornar-se afetivo, produzindo efetivas invenções ao levar as normas aos seus limites e ao quebrar qualquer concepção de articulação sintática unitariamente regrada, abrindo assim a escuta a novos mundos possíveis (PENHA, 2016, p.88)

Pode-se entender a peça musical como a consolidação do *solfejo*³ do(a) compositor(a) decorrente de sua escuta particular e do manejo de meios técnicos específicos para a produção e/ou registro sonoro. Peter Szendy ilustra bem essa perspectiva da criação musical no âmbito das práticas de arranjo, mencionando que “ [...] parece que o que os arranjadores expressam é, antes de tudo, uma escuta. Suas escutas de um trabalho. Eles

³ É importante mencionar que a proposta de uma noção mais ampla de *solfejo* surge, inicialmente, no trabalho de Pierre Schaeffer, *Traité des Objets Musicaux*, ao se referir ao *solfejo* de *objetos sonoros* (SCHAEFFER, 1966).

talvez sejam os únicos ouvintes na história da música que escrevem suas escutas, ao invés de descrevê-las (como fazem os críticos)”⁴ (SZENDY, 2009, p.36).

O arranjo é profundamente associado a um outro trabalho, e essa associação ocorre por meio da experiência da escuta e de suas *sonoridades/imagens* — assim como definidas anteriormente — que se manifestam e agem como estímulos para outra forma de expressão sonora. A ideia de *solfejo*, nesse caso, é ainda mais palpável, pois combina, em muitos casos, as práticas de solmização tradicional de leitura de linhas melódicas de uma partitura, com a seleção e filtragem de linhas expressivas imagéticas que engendram uma outra interpretação da peça. Os meios de registro e reprodução da peça servem como material para o solfejo, que conduz a composição do arranjo. Trata-se de um discurso musical, representado gráfica ou fonograficamente, que desencadeia a dinâmica de forças que são trabalhadas no processo criativo. Esse discurso é sujeito, então, a uma outra escuta que explora seus elementos constituintes — como ritmo, harmonia, timbre e forma — por meio do *solfejo* do arranjador que os seleciona, filtra e amplia, imaginando novos caminhos para compor uma outra música.

No caso do arranjo, há a coincidência de que *imagens* e *sonoridades* se manifestam, em parte, a partir de atividades às quais estes dois termos são facilmente associados no senso comum, como a leitura e escuta de registros gráficos e fonográficos, respectivamente. Salientamos que, assim como mencionado por Caesar e Bonafé, as noções de *imagem* e *sonoridade* a que nos referimos aqui não se relacionam, exclusivamente, com os sentidos da visão e audição humana. Esses termos correspondem a duas formas diferentes de pensar a manifestação de estímulos mentais/emocionais que decorrem tanto de fenômenos internos, como memórias e reflexões, quanto externos, como aqueles apreendidos pelos sentidos humanos. Por essa perspectiva, pode-se reconhecer uma complexidade – ou, nas palavras de Caesar – uma *espessura* maior na escuta, na medida que esta não se reduz a uma apreensão simples do som, mas é compreendida como um fenômeno da imaginação humana.

Essa constatação converge com nossa investigação acerca da aplicação de métodos de análise e visualização sonora. Em especial, exploramos como tais técnicas de *escuta com máquina* estimulam a teia de *sonoridades/imagens* e tornam mais diversos os materiais de *solfejo* em processos criativos.

⁴ Tradução nossa.

2.2 Escuta mediada na composição assíncrona

Nossa investigação parte da observação de processos criativos que, assim como as práticas de arranjo, também se baseiam na escuta e análise de estruturas sonoras pré-estabelecidas. Contudo, os processos composicionais contemplados a seguir possuem como estímulo sons que não integram, inicialmente, um discurso musical. São processos baseados na análise de fenômenos sonoros utilizando técnicas de análise, como o espectrograma ou descritores de áudio, para extrair e/ou tornar visíveis dados acústicos que possam, de alguma forma, guiar o processo composicional.

Historicamente, vinculou-se as primeiras abordagens de composição musical com modelos acústicos ao movimento musical spectralista. A partir da década de 1970, compositores dessa vertente, como Gérard Grisey e Tristan Murail, trabalharam sistematicamente com a teoria e técnicas de análise do espectro sonoro de forma a tornar apreensível (visível e audível) a dinâmica de forças existente num fenômeno acústico. Tratam-se de processos orientados pelo o que Penha chama de *solfejo spectral*: um pensamento composicional que se “atenta à vida interna dos parciais componentes dos sons, à variedade de modos de distribuição espectral e ao escoamento temporal como um dado constituinte do próprio som” (PENHA, 2016, p.139).

Essa abordagem, apesar de não se restringir somente ao movimento spectralista, foi utilizada e descrita extensamente por compositores dessa vertente musical num momento histórico onde surgiram e desenvolveram-se as primeiras formas de análise computacional de áudio. Nesse contexto, é interessante observar como a visualização do espectrograma do som contribuiu para a consolidação de um paradigma composicional de enorme impacto no final do século XX.

2.2.1 Composição com sinais: *Les Espaces Acoustiques*

Em uma subseção anterior, abordamos a ideia de um “ecossistema de performance”, aproveitando o termo de Simon Waters e Agostino Di Scipio (WATERS, 2013; SALLIS et al., 2018). No caso da composição assíncrona assistida por técnicas de análise de sinal, podemos considerar, de forma análoga, “ecossistemas” de idealização, planejamento e notação musical, estruturados de acordo com as interações entre e dispositivos/técnicas de processamento de áudio com o(a) compositor(a), suas escutas, *imagens/sonoridades* e

solfejos.

Um exemplo disso, é o pensamento composicional por trás das três primeiras peças que compõem o ciclo de obras *Les Espaces Acoustiques*, de Gérard Grisey. Não é nossa intenção, aqui, realizar uma análise detalhada dessas peças⁵, mas expor alguns processos composicionais que destacam a utilidade de dados extraídos da análise espectral no *solfejo* do compositor, servindo como base, inclusive, para procedimentos algorítmicos de composição.

A harmonia dessas obras tem como referência o espectro harmônico da nota E1 (41.2 Hz) do trombone. A primeira peça, *Prologue* (1976), é marcada inicialmente por frases que Jérôme Baillet chama de neumas: um gesto monódico caracterizado por uma direcionalidade ou forma (*Gestalt*) específicas, mas não melódico no sentido clássico (BAILLET, 2000, p.99). Esses neumas são, num primeiro momento, curtos e compostos predominantemente por alturas de parciais do espectro da nota E1 (41.2 Hz) do trombone. Parte do desenvolvimento ocorre permutando as alturas a cada neuma e introduzindo alturas referentes a parciais cada vez mais agudos do espectro de referência. A tensão é construída com o adensamento desses neumas e a inclusão de notas inarmônicas em relação à nota do trombone. A inclusão de novas alturas ao neuma é acompanhada por um aumento do âmbito de frequências e por diferentes dinâmicas de aceleração e desaceleração do gesto. Paralelamente a isso, o timbre da viola também sofre uma progressiva transformação devido à mudança do local de arcada de *sul tasto* até *sul ponticello*. Todo esse processo prepara a chegada em uma seção ruidosa e com dinâmicas intensas, que configura o clímax da peça (BARROS, 2013).

É interessante observar que Grisey utiliza o espectro do trombone como um eixo de referência para construir contrastes harmônicos que se relacionam também com outros parâmetros — como ritmo, por meio do adensamento dos neumas, e timbre, devido às mudanças graduais do local de arcada (BARROS, 2013, p.63). Isso evidencia um pensamento composicional algorítmico baseado em dados do espectrograma que condiciona um modo de desenvolvimento formal da peça e a criação de momentos de tensão e relaxamento que dão o sentido de unidade e continuidade à obra.

Algo semelhante ocorre na segunda peça do ciclo, *Périodes*. “*Périodes* apresenta um ciclo constante de períodos ternários análogos ao ritmo respiratório: inspiração, expiração,

⁵ Para isso, consultar (BARROS, 2013)

repouso. Nesta peça, quatro longos períodos se articulam em torno de um espectro de harmônicos que tem a nota Mi como fundamental.” (BARROS, 2013, p.77). Esses parciais são expostos na nota inicial da partitura. A relação entre ritmo e harmonia é, neste caso, ainda mais direta, pois Grisey cria, no início da peça, uma relação de proporção entre os intervalos de tempo dos ataques em fortíssimo da viola e a série harmônica de referência, composta por 21 parciais.



Figura 5 – Intervalos de tempo, em segundos, entre os ataques em *sforzando* da viola, no início de *Périodes* (BARROS, 2013, p.83). Além da referência à série harmônica, aqui também parece haver uma referência à série de Fibonacci.

Essa proporção é utilizada também na organização macro-temporal de eventos, cujas durações também possuem relação com a distância intervalar dos parciais da série harmônica.

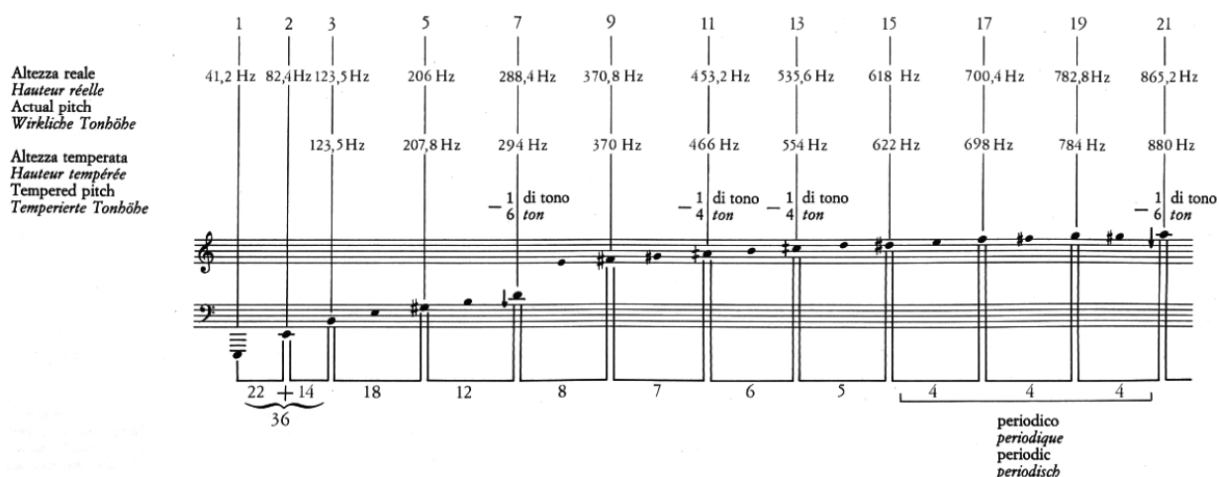


Figura 6 – Parciais do E1 (41.2 Hz), suas frequências correspondentes e distâncias em quartos de tom. A estrutura formal de *Périodes* e a duração de suas seções está relacionada diretamente à proporção entre essas distâncias.

Em *Partiels*, por sua vez, Grisey explora de forma mais sistemática o que veio a ser chamado de *síntese instrumental*. Essa técnica é utilizada mais notavelmente no início da peça, onde se recria parte da série de parciais da nota E1 do trombone a partir do efetivo instrumental, composto por duas flautas, oboé, 2 clarinetes em Sib e duas trompas. Executa-se no contrabaixo ataques repetidos na nota E1 que desencadeia uma textura, criada por meio da síntese instrumental dessa mesma nota, onde cada instrumento executa

uma nota do espectro de referência e a sustenta com modulações de intensidade e de timbre graduais ao longo do tempo.

Na síntese instrumental, é cada instrumento que produz cada parcial do som e, diferentemente da síntese eletrônica, a fonte sonora é já ela mesma uma micro-síntese. Para distinguir aquela desta última, chamemos de macro-síntese a síntese instrumental que visa a elaboração de formas sonoras (GRISEY; LELONG; RÉBY, 2008, p.35).⁶

Grisey faz uma distinção interessante entre escutas musicais *macrofônica* e *microfônica*. Talvez a diferença principal entre essas duas abordagens seja que a escuta microfônica se atenta especialmente ao *interior* do som, sua síntese e/ou processamento e a suas qualidades acústicas, ao passo que a escuta macrofônica sujeitaria o som previamente sempre a um discurso musical e/ou a técnicas de escrita e instrumentação previamente estabelecidas. No fazer musical, essa diferença se traduz especialmente na amplitude considerada do material sonoro, que pode ser entendido como uma fonte de intensidade, timbre e altura — parâmetros derivados de uma escuta mais comum — ou como um fenômeno constituído por diversas camadas e parâmetros; muitos destes, desvelados por uma escuta microfônica assistida por dispositivos de análise e reprodução sonora.

Nos processos descritos anteriormente, observa-se o *solfejo espectral* como uma forma de deduzir da análise espectral lógicas composicionais que se relacionam diretamente com a estrutura acústica do som analisado. A *inscrição de sinal* — no caso dos processos de Grisey, o espectrograma — serve como modelo para a *inscrição simbólica* (partitura) da peça, cuja forma é, em boa parte, associada a atributos de áudio extraídos na análise espectral. Nessas peças de Grisey, destaca-se o uso da energia de parciais e suas proporções na série harmônica para a formulação e estruturação das macro e micro-formas musicais.

A influência da análise por meio do espectrograma é clara no pensamento composicional não apenas de Grisey, mas também em boa parte do movimento espectralista. Este, por sua vez, consolidou novas perspectivas em relação ao fazer musical que contribuíram para o desenvolvimento de diversas práticas e estéticas musicais. Além disso, outros dispositivos de análise surgiram, principalmente a partir do final da década de 1980, que passaram a possibilitar outras escutas em processos composicionais a partir do mesmo princípio das práticas microfônicas exploradas por Grisey.

⁶ Tradução nossa.

Com o avanço tecnológico na área da computação a partir dos anos de 1990, surgiram novas ferramentas digitais que possibilitaram novos métodos de composição musical baseada na análise sonora. Nesse contexto, houve um grande desenvolvimento teórico e técnico no campo de *Music Information Retrieval*, que resultou na formulação e implementação de diversos descritores de áudio. Diferentemente do espectrograma, que promove uma análise acústica mais genérica, os descritores de áudio compreendem um conjunto de ferramentas de análise de atributos específicos, promovendo uma gama maior de parâmetros de análise e possibilitando uma inspeção mais minuciosa do som. A capacidade de análise microfônica, aproveitando o termo de Grisey, tornou-se ainda mais potente. A implementação de descritores em ambientes de programação musical — como o *MAX*, *Pure Data* e *Open Music* —, assim como em linguagens de programação que se popularizaram na área da computação musical — como *C*, *C++*, *Python* e *Java Script* — tornou acessível essas ferramentas e possibilitou a integração delas a sistemas computacionais de composição algorítmica.

Nesta subseção, apresentamos algumas aplicações de técnicas incipientes de análise de áudio — nomeadamente, o espectrograma — em processos de Grisey que representam abordagens composicionais que tiveram enorme contribuição no trabalho de muitos compositores que o sucederam. Anteriormente, neste capítulo, oferecemos também alguns exemplos do uso de tecnologias mais recentes de análise de áudio em performances interativas, em especial, descritores de áudio. A seguir veremos alguns exemplos de como essas ferramentas foram incorporadas em processos de composição instrumental assíncrona nas últimas décadas.

2.2.2 Composição algorítmica com descritores de áudio

Mesmo com a ampla implementação de descritores de áudio em ambientes computacionais e a crescente utilização de ambientes/linguagens de programação no meio musical, a produção acadêmica acerca do uso de descritores de áudio em processos de composição assíncrona ainda se demonstra escassa, especialmente no âmbito da música instrumental. Nesse contexto, destacam-se métodos de Orquestração Assistida por Computador (OAC) nos quais se emprega técnicas de análise para extrair informações relevantes de amostras de áudio correspondentes à execução de instrumentos musicais com diferentes técnicas e em registros variados. Desta forma, procura-se orientar o processo de orquestração

a partir de métodos de correlação entre sons de referência, utilizados como modelos para a orquestração, com um *corpus* instrumental composto por diversas gravações de instrumentos.

Em uma pesquisa desenvolvida por David Psenicka, por exemplo, analisa-se o conteúdo espectral de diversos arquivos de áudio para extrair picos espectrais e salvá-los em uma base de dados organizada em listas na linguagem *Common Lisp* (PSENICKA, 2003). Sons alvos são igualmente analisados e comparados à base de dados. Com isso, procura-se identificar algoritmicamente timbres instrumentais que possuem uma distribuição de picos no espectro similar ao de sons alvos, o que pode orientar processos de mimesis ou síntese instrumental. Esse método algorítmico de orquestração consolidou-se em certos nichos musicais a partir do desenvolvimento de programas mais robustos, como o *Orchidea* (CELLA, 2022), cuja implementação envolve uma variada gama de descritores de áudio. Isso resulta num aumento da base de dados e da variedade de atributos de áudio contemplados, o que contribui para processos de correlação sonora mais robustos. Outros trabalhos também aproveitaram essa aplicação de descritores de áudio na orquestração instrumental, mas com outras abordagens.

Ivan Simurra propõe um método de orquestração assistida baseado em descritores de áudio, um *corpus* com amostras de áudio instrumentais e pontos de referência. Diferentemente de sons alvos, os pontos de referências correspondem a descrições sonoras que representam um tipo timbre/textura para um momento específico da peça (SIMURRA, 2016). Ao abordar o processo criativo de sua peça *O Azeite, a lua e o rio – numa ilha rodeada de ouro, com água até o joelho*, Simurra exemplifica esses pontos de referências com passagens como “baixa intensidade sonora e baixa irregularidade, resultando em sonoridades aveludadas” e “alta intensidade sonora e baixa irregularidade, resultando em sonoridades aveludadas”. Em seu trabalho, relaciona-se essas impressões sonoras aos valores dos descritores *chroma*, *loudness* e *spectral irregularity*, para viabilizar um processo de descrição de alto nível correspondente aos pontos de referência estabelecidos. A partir disso, mensura-se os aspectos psicoacústicos relacionados aos pontos de referência na análise de misturas sonoras compostas por amostras instrumentais. A partir dos valores gerados pela análise das amostras, procura-se estruturar texturas e transições entre misturas sonoras utilizando a notação simbólica da instrumentação selecionada.

Percebe-se que a abordagem de orquestração assistida proposta por Simurra procura

conjugar métodos de correlação de atributos de áudio, via procedimentos de descrição de áudio de alto nível, com um plano composicional traçado pelo compositor, que orienta previamente o desenvolvimento macro-estrutural da peça por meio do estabelecimento de pontos de referência. Em parte, pode-se considerar essa estratégia redundante, já que os pontos de referências dados por Simurra configuram atributos sonoros de alto nível bem próximos a o que uma escuta humana não assistida poderia constatar. Por outro lado, a utilização dos descritores ajuda a organizar algoritmicamente e a controlar melhor os procedimentos de interpolação textural que ocorrem ao longo da peça, o que pode refletir em dinâmicas de transições texturais mais discretas e contínuas. O fato das propostas de orquestração produzidas servirem apenas de referência e estarem sempre sujeitas a mudanças intuitivas por parte de Simurra torna o processo ainda mais interessante, permitindo outras escutas que estimulam a criação musical.

Por fim, é importante mencionar um projeto realizado por nós, anterior a esta pesquisa de mestrado, que rendeu resultados práticos e reflexões importantes para o presente trabalho. Trata-se de uma pesquisa de iniciação científica acerca de modelos tecnomórficos de síntese concatenativa na composição instrumental (GUATIMOSIM; PADOVANI; GUATIMOSIM, 2021). O termo *tecnomorifismo* refere-se ao “uso metafórico de um processo tecnológico em um contexto diferente daquele no qual foi concebido” (WILSON, 1989). No contexto da música, especialmente do pós-guerra, esse termo refere-se a processos composicionais formulados a partir de analogias com equipamentos, ferramentas e outras tecnologias de gravação, processamentos e reprodução de áudio introduzidas em estúdios de música eletroacústica (CATANZARO, 2018).

Na pesquisa de iniciação científica, utilizamos o funcionamento da síntese concatenativa (SCHWARZ et al., 2006) como modelo para desenvolver um ambiente de programação de música generativa para conjuntos instrumentais percussivos. Aplicamos procedimentos de análise e correlação semelhantes aos do *Sporch* (PSENICKA, 2003) e *Orchidea* (CELLA, 2022). Contudo, nossa proposta procurou aplicar esses procedimentos para orientar não apenas a orquestração, mas também a formulação de aspectos rítmicos e formais na composição. Apesar de termos obtido alguns resultados interessantes, sentimos que o aspecto criativo do processo centrou-se demais na capacidade computacional de composição generativa e menos na proposição de reflexões e novas escutas na criação musical. Como mencionado na introdução desta tese, essa foi uma das motivações para o

desenvolvimento de outras formas de utilização de descritores de áudio que permitissem uma exploração mais direta dos dados de análise pelo agente humano. Com esse intuito, propomos outros métodos, apresentados no próximo capítulo, que tratam dados de análise como fator pertinente na escuta humana, relacionando-os com as noções de *imagem*, *sonoridade* e *solfejo* anteriormente apresentadas.

Os trabalhos observados anteriormente são baseados em sistemas computacionais que processam dados de descritores de áudio visando a realização de tarefas específicas. A partir deles, realizam-se procedimentos automatizados que correlacionam sons ou pontos de referência com outros fragmentos de áudio a fim de empregá-los na estruturação de peças. Desta forma, condiciona-se aspectos da composição musical a características acústicas de fenômenos sonoros, seja utilizando-os como modelos para a estruturação da orquestração, de gestos ou da forma na música instrumental. Nesse contexto, onde a composição está atrelada a uma série de automatismos do sistema musical, entendemos que o *solfejo* ocorre tanto na observação e interpretação humana dos dados, como é o caso nos processos composicionais de Grisey com o espectrograma, quanto nos próprios processos técnicos de programação e estruturação de sistemas computacionais de análise.

O processamento e a aplicação criativa de dados de sinais de áudio estão vinculados a uma escuta ampliada que ocorre no momento de implementação do ambiente de programação e que procura antever o agenciamento do sistema no processo composicional. A escuta passa a estar atrelada não apenas à *inscrição de sinal*, relativa a formas de codificação de fenômenos acústicos em áudio — como no gráfico de amplitude, de dados de descritores, do espectrograma, etc — e à *inscrição simbólica* (notação musical), mas também a um processo de *inscrição material*.

Como já mencionado no primeiro capítulo, Magnusson trata esse terceiro tipo de inscrição, em parte, como um processo de construção de ferramentas epistêmicas que auxiliam o pensamento humano (MAGNUSSON, 2019). Observamos isso no desenvolvimento histórico acerca da acústica desde Pitágoras, que supostamente teria usado o monocórdio como ferramenta em sua investigação acerca da música das esferas, até Helmholtz, que utilizou seus ressonadores para isolar parciais, dentre outros exemplos.

Na composição assistida por computador, a programação de novas ferramentas integra muitas vezes o próprio trabalho criativo. Com essas ferramentas, abrem-se novas

possibilidades de criação específicas do processo criativo que conduzem o(a) compositor(a) a outras experiências de escuta (*sonoridades, imagens e solfejos*). Destacamos isso nos trabalhos de Grisey, onde é claro o impacto do espectrograma em seu pensamento composicional. Nos trabalhos de Psenicka e Simurra, o efeito dos meios técnicos desenvolvidos ganha outras proporções, na medida em que se integram algoritmos de análise a sistemas de processamento de atributos de áudio voltados para a composição musical.

No próximo capítulo, apresentamos processos de criação tanto síncronos quanto assíncronos desenvolvidos ao longo da pesquisa de mestrado. Os processos assíncronos baseiam-se em técnicas de visualização de atributos de áudio voltadas para a composição musical. Diferentemente dos métodos de composição assistida por computador observados nessa última subseção, essas estratégias computacionais tem como foco a geração de formas de visualização de atributos de áudio que estimulem a escuta do compositor. Assim, evitamos delegar tanto o processo criativo a processos algorítmicos automatizados, utilizando estes apenas para a geração de estruturas visuais a partir das quais o compositor possa refletir e deduzir ideias musicais.

Ao fazer isso, unimos de certa forma a abordagem analítica-reflexiva empregada por Grisey em relação ao espectrograma com estratégias de processamento de áudio mais recentes, que proporcionam múltiplas perspectivas do fenômeno sonoro e a contemplação de mais parâmetros acústicos no processo criativo.

3 Criação musical informada por descritores de áudio e associada a formas visuais

Em nossa abordagem de composição musical assistida por técnicas de análise, é de grande importância a forma com a qual se visualiza os dados de áudio. Dados numéricos são facilmente processados por máquinas, mas para o leitor humano é muitas vezes necessário que estes dados adquiram uma forma visual simbólica para serem melhor interpretados.

Parte da motivação para o desenvolvimento dos métodos de criação apresentados em seguida é justamente a participação direta do agente humano na interpretação de dados de análise. Portanto, torna-se necessária uma investigação e reflexão acerca de métodos de visualização de atributos de áudio na composição musical que possam servir como referência para nossas experimentações criativas. O grande desafio, nesse caso, é permitir que uma variedade de dados se tornem tangíveis pelo(a) compositor(a) para que de fato se integrem à sua experiência de escuta.

Para trabalhar essa problemática, realizamos neste capítulo uma revisão acerca de alguns trabalhos que propõem diferentes estratégias de visualização sonora, tanto no campo da análise quanto da composição musical. Nesse contexto, destaca-se a grande influência dos trabalhos de Pierre Schaeffer e de Dennis Smalley que hoje servem como base para discussões acerca da tipomorfologia sonora. Este tema demonstrou-se uma grande referência para diversas pesquisas voltadas para a visualização de atributos de áudio e serviu de inspiração para alguns dos métodos encontrados em nossa revisão bibliográfica.

Paralelamente a essa revisão, apresentamos nossas próprias experimentações criativas com métodos de visualização sonora, abordando o impacto dessas técnicas nos processos composicionais de duas peças: *Interstício*, para violino e eletrônica em tempo real, e *Sorte*, para violão e sistema interativo audiovisual.

3.1 Visualização de som/áudio na análise musical

No primeiro capítulo desta dissertação, abordamos algumas problemáticas centrais no método de Charles Seeger para a produção de partituras “descritivas” que se

assemelham às questões que apresentamos neste terceiro capítulo. Seeger procurou gerar registros analíticos/musicológicos derivados diretamente do processo transdutivo de meios de *inscrição de sinal* (SEEGER, 1958). A intenção com isso foi produzir uma forma de visualização contínua e neutra, que permitisse uma observação mais detalhada de inflexões ocorridas entre notas, dentre outros aspectos de expressões musicais estrangeiras não contemplados pela notação ocidental tradicional. No entanto, Seeger reconheceu a importância de manter, em certo grau, elementos simbólicos da escrita musical, tendo em vista que, para a leitura do registro sonoro, era importante a segmentação do contínuo da análise em unidades rítmicas/temporais ou de altura/frequência que permitissem distinguir eventos mais claramente. Trata-se de uma abordagem que procura mesclar, portanto, elementos da *inscrição de sinal* com da *inscrição simbólica*, assim como definidas por Magnusson (MAGNUSSON, 2019), de forma a viabilizar a experiência de *escuta com máquina*, incluindo o agente humano no processo de interpretação de dados de análise sonora.

Essa abordagem pode servir para diversas finalidades, seja para análise, performance e/ou composição, e é muito explorada no contexto da música eletroacústica, que, diferentemente da música instrumental, não possui métodos bem estabelecidos de notação. Nesse contexto, a tarefa de representar e registrar simbolicamente sons ainda é uma contínua exploração, que envolve tanto processos de notação baseados em livres associações entre o som e formas gráficas, assim como técnicas de processamento de sinal voltadas para a extração de atributos de áudio.

Um método comum de visualização sonora na análise de música eletroacústica é aquele da partitura aural (BACHRATÁ, 2010). Ao longo de repetidas audições de um obra, desenha-se uma partitura a partir de símbolos subjetivamente associados a parâmetros sonoros de partes de uma obra, percebidos pelo indivíduo que a analisa. O processo serve como uma forma de aprofundamento na estrutura musical na medida em que, a cada escuta, destacam-se ao ouvinte novos eventos que são então transcritos em papel. Ao fim de repetidas audições, configura-se uma partitura composta por diversas camadas de elementos musicais.

Devido à dificuldade em apreender a totalidade da estrutura musical de uma obra, a escuta em processos de análise musical, em geral, é guiada por uma intenção analítica prévia. No caso da partitura aural, os elementos registrados estão associadas a

uma escuta seletiva do analista, e a estrutura simbólica resultante representa um modo de visualização subjetivo de aspectos musicais de interesse. A realização da partitura funciona como um meio de organizar em papel aspectos pertinentes da análise aural do indivíduo (BACHRATÁ, 2010).

Um exemplo disso é a partitura aural, exposta abaixo, produzida por Makis Solomos para a análise da peça *Diamorphoses*, de Iannis Xenakis (SOLOMOS, 2002). O autor associa livremente figuras gráficas a tipos morfológicos que ele identificou em sua escuta da peça, e legenda cada tipo sonoro com letras do alfabeto. Por exemplo, as letras “c”, “f” e “g” correspondem a sons em “*glissando*” (*sliding sounds*), e as letras “h” e “i” a sons pontuais.

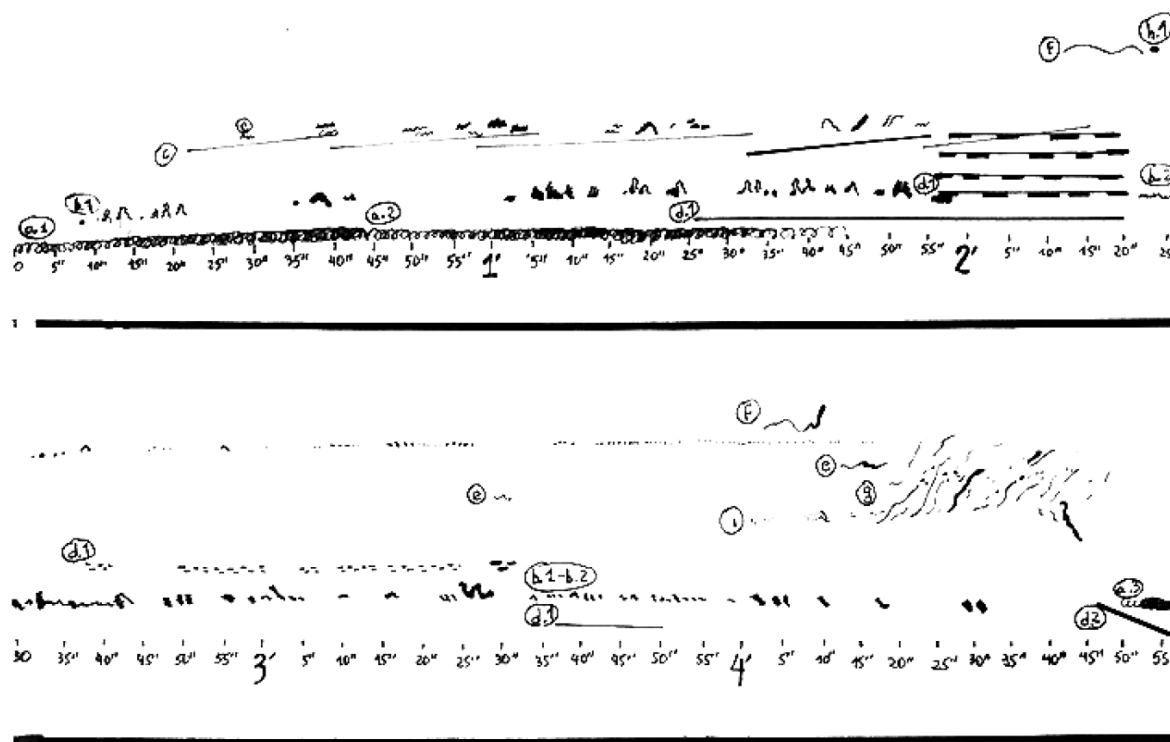


Figura 7 – Fragmento de uma partitura aural utilizada para análise da peça *Diamorphoses*, de Iannis Xenakis (SOLOMOS, 2002).

Há trabalhos, também baseados na percepção aural, que possuem outros métodos de transcrição analítica. Lasse Thoresen, por exemplo, apoiou-se em noções de tipomorfologia estabelecidas por Schaeffer em seu *Tratado de Objetos Sonoros* (SCHAEFFER, 1966), e posteriormente desenvolvidas por Dennis Smalley, para desenvolver um sistema gráfico voltado para a visualização sonora (THORESEN; HEDMAN, 2007). Procurando viabilizar a aplicação prática dessas noções em processos de análise musical, Thoresen propõe um modelo de transcrição analítica guiada por uma escuta reduzida, assim como definido

por Schaeffer. Por meio desta escuta, procura-se identificar, mesmo que com algum grau de subjetividade, objetos sonoros e seus diferentes atributos tais como, por exemplo, *allure*, granulidade e distribuição espectral. A representação gráfica da tipomorfológica de cada objeto sonoro é baseada no vocabulário espectromorfológico e ocorre por meio da utilização de um conjunto de símbolos composto por figuras associadas a atributos acústicos específicos.

Assim como a realização da partitura aural anteriormente mencionada, a escuta reduzida nesse processo também caracteriza-se, naturalmente, como um método de análise. Contudo, o detalhamento do sistema gráfico proposto por Thoresen, assim como seu embasamento teórico tipomorfológico, garantem à transcrição referências mais sólidas de interpretação dos sons ali descritos.

	<i>Vacillating</i>		<i>Stratified</i>		<i>Sustained</i>			<i>Impulse</i>	<i>Iterated</i>		<i>Composite</i>		<i>Accumulated</i>	
STABLE														
<i>Pitched</i>														
<i>Dystonic</i>														
<i>Complex (unpitched)</i>														
VARIABLE														
<i>Pitched</i>														
<i>Dystonic</i>														
<i>Complex (unpitched)</i>														

Figura 8 – Diagrama de representações tipomorfológicas propostas por Thoresen (THORESEN; HEDMAN, 2007).

Para além disso, é interessante observar que Thoresen propõe representações de atributos acústicos que, por vezes, dificilmente podem ser percebidos de forma acurada pela escuta humana não assistida. Apesar de não explicitado em seu trabalho, isso pode indicar que a escuta aural prevista nos processos notacionais pode ser eventualmente mediada por ferramentas computacionais programadas para extração de dados correlacionáveis a esses atributos. Uma dessas ferramentas, por exemplo, é a análise espectral via STFT, a partir da qual pode-se obter ou inferir diversos dados acerca da estrutura harmônica do som, incluindo alguns mencionados por Thoresen, como *spectral width* e *spectral brightness*

(PEETERS, 2004), além de outros atributos, como *allure* e granularidade, estipulados por Schaeffer em seu tratado e também incorporados ao sistema de Thoresen.

Neste caso, vale a pena mencionar que há outros trabalhos que já associaram descritores de áudio à teoria tipomorfológica schaefferiana em contextos analíticos. Em especial, destaca-se o trabalho de Sérgio Freire sobre a qualificação de sons percussivos em tempo real (FREIRE; PADOVANI; CAMPOS, 2022). Neste trabalho, aborda-se o desenvolvimento de descritores de áudio correlacionáveis a atributos tipomorfológicos estipulados por Schaeffer, incluindo *allure* e granulosidade, que demonstraram-se úteis na identificação de sons percussivos. Sérgio Freire pontua que um traço comum entre a análise de áudio via descritores de áudio e a prática de escuta reduzida de Schaeffer é o fato de ambas abordagens procurarem identificar características do som baseadas em critérios, dimensões ou parâmetros específicos. Esta constatação é de especial interesse para nosso trabalho, pois, apesar de parecer óbvia, acarreta uma reflexão acerca das possibilidades de uma percepção híbrida, onde a escuta pode ser conjugada com a leitura/interpretação de dados de áudio. Esse modelo de percepção é a base para a proposta composicional de nossa pesquisa sobre a qual dissertaremos mais a frente.

No campo da análise musical, contudo, essa prática já é mais bem consolidada. Isso é evidente quando observamos o ritmo de desenvolvimento de *softwares* dedicados à análise de áudio que passaram a ser amplamente utilizados em certos nichos musicais. O *Acousmographie* (1991), *AudioSculpt* (1993), *Sonic Visualizer* (2000), *Spear* (2006) e *EAnalysis* (2011), por exemplo, renderam novas possibilidades de manipulação de áudio de grande impacto na área da análise musical. Em programas como estes, estão disponíveis diversas técnicas de análise de áudio e de visualização de seus atributos, como amplitude, espectrograma, envelope, dentre outros.

Para além disso, alguns desses programas, especialmente o *Acousmographie* e o *EAnalysis*, dispõem de ferramentas que permitem a renderização de representações gráficas arbitrárias ou anotações pessoais paralelamente a representações de atributos de áudio canônicas, como o sonograma (PADOVANI; BARBOSA, 2013). Isso permite que formas de representação menos convencionalizadas, como dos métodos de análise musical aural mencionados anteriormente, possam ser dispostas junto a formas de representação de áudio mais bem estabelecidas. Isso resulta num registro analítico detalhado, composto por diferentes perspectivas que podem ampliar e facilitar a interpretação dos dados de análise.

Em nosso trabalho, procuramos explorar esse tipo de suporte de análise em processos criativos, em que técnicas de análise de áudio e de visualização de seus dados informam e inspiram percursos composicionais. Para isso, idealizamos alguns métodos que possibilitam uma maior convergência entre estas técnicas e a proposta criativa de nossa pesquisa sobre métodos composicionais de escuta com máquina.

Uma primeira abordagem baseia-se no que chamamos de *rascunho sonoro*: um registro analítico de dados de áudio, representados em forma de notação musical tradicional ou por meio de gráficos de duas ou, no caso do sonograma, de três dimensões. A partir dele, propomos uma atividade imaginativa/especulativa acerca dos dados representados, por meio da qual pode-se intuir materiais harmônicos, rítmicos e/ou timbrísticos de interesse musical.

A ideia é que a representação e interpretação de dados de áudio podem ajudar na concepção de ideias musicais novas que não necessariamente tenham uma relação clara com o som analisado. Ao tentar realizar o caminho inverso do processo de análise — ou seja, imaginar sons a partir dos dados de análise representados no rascunho sonoro —, novas ideias musicais surgem, que, por sua vez, podem orientar processos composicionais diversos.

3.2 *Interstício*, para violino e eletrônica em tempo real

Para ilustrar essa abordagem analítica/criativa, documento aqui o processo de composição da obra *Interstício* (2022), para violino e eletrônica em tempo real, composta junto e dedicada à violinista Sofia Leandro. Essa peça foi estreada no auditório da Escola de Música da Universidade Federal de Minas Gerais (ESMU/UFMG), na ocasião do concerto de encerramento da matéria de pós-graduação *Sonante 21*, no segundo semestre letivo de 2021¹.

3.2.1 Aspectos técnicos da geração de um *rascunho sonoro*

Os materiais musicais iniciais desta peça foram derivados da leitura de um *rascunho sonoro* gerado a partir da análise de um curto estudo acusmático, também composto por

¹ Devido à pandemia de Covid-19, o segundo semestre de 2021 da UFMG foi deslocado para o início de 2022.

min. Para a geração desse registro analítico, considere interessante a possibilidade de analisarmos o áudio contemplando separadamente seus elementos harmônicos e ruidosos. Tendo isso em vista, realizamos primeiramente um pré-processamento do áudio por meio da técnica de *Harmonic-Percussive-Residual Source Separation* (DRIEDGER, 2014). Desta forma, geramos duas versões do áudio original; uma na qual predominam os elementos harmônicos e percussivos do áudio (versão HP), e outra em que apenas os elementos residuais/ruidosos se destacam (versão R).

Em seguida, observamos o comportamento de diversos descritores de áudio na análise dessas duas versões do áudio e escolhemos aqueles cujos fluxos numéricos mais modularam ao longo da análise. O discernimento acerca de qual informação é pertinente para compor o rascunho sonoro é importante, pois a variação dos dados de análise deve ser não apenas perceptível, como também deve estimular um pensamento composicional. Fluxos de dados estáticos por longos períodos, apesar de contribuírem para a análise, tornam-se redundantes rapidamente ao longo do processo de leitura.

Neste caso específico, extraímos, por meio de descritores de áudio, dados referentes aos atributos de *flatness*, *zero-crossing*, *root mean square* (PEETERS, 2004), *spectral complexity* (LAURIER et al., 2009) e *high frequency content* (MASRI; BATEMAN, 1996). Estes dados foram representados num gráfico onde a opacidade das figuras correspondem ao valor normalizado retornado pelos descritores, sendo 1 equivalente às figuras mais opacas e 0 às mais transparente (não visível). Utilizamos também o descritor de *harmonic pitch class profile* (GÓMEZ, 2006) para obter as classes de altura mais presentes no espectro do áudio, representando-as numa pauta musical harmônica, onde tons fortes de vermelho nas cabeças de nota indicam uma maior presença de suas respectivas alturas no espectro. Outro dado presente no rascunho é o de início e fim de eventos (*onset* e *offset*) (DIXON, 2006), representado também em notação musical numa pauta rítmica.

Achamos também oportuno expor paralelamente o sonograma para contribuir para uma visão geral do espectro do áudio, em oposição aos descritores que extraem informações muito específicas. Alguns destes, como os de *spectral centroid* e *spectral roll-off* (PEETERS, 2004), representamos também em forma de gráfico, junto ao sonograma, em Hertz.

A análise de áudio por meio de descritores e o tratamento dos dados obtidos foram implementados utilizando-se a linguagem *Python* e métodos de análise implementados na

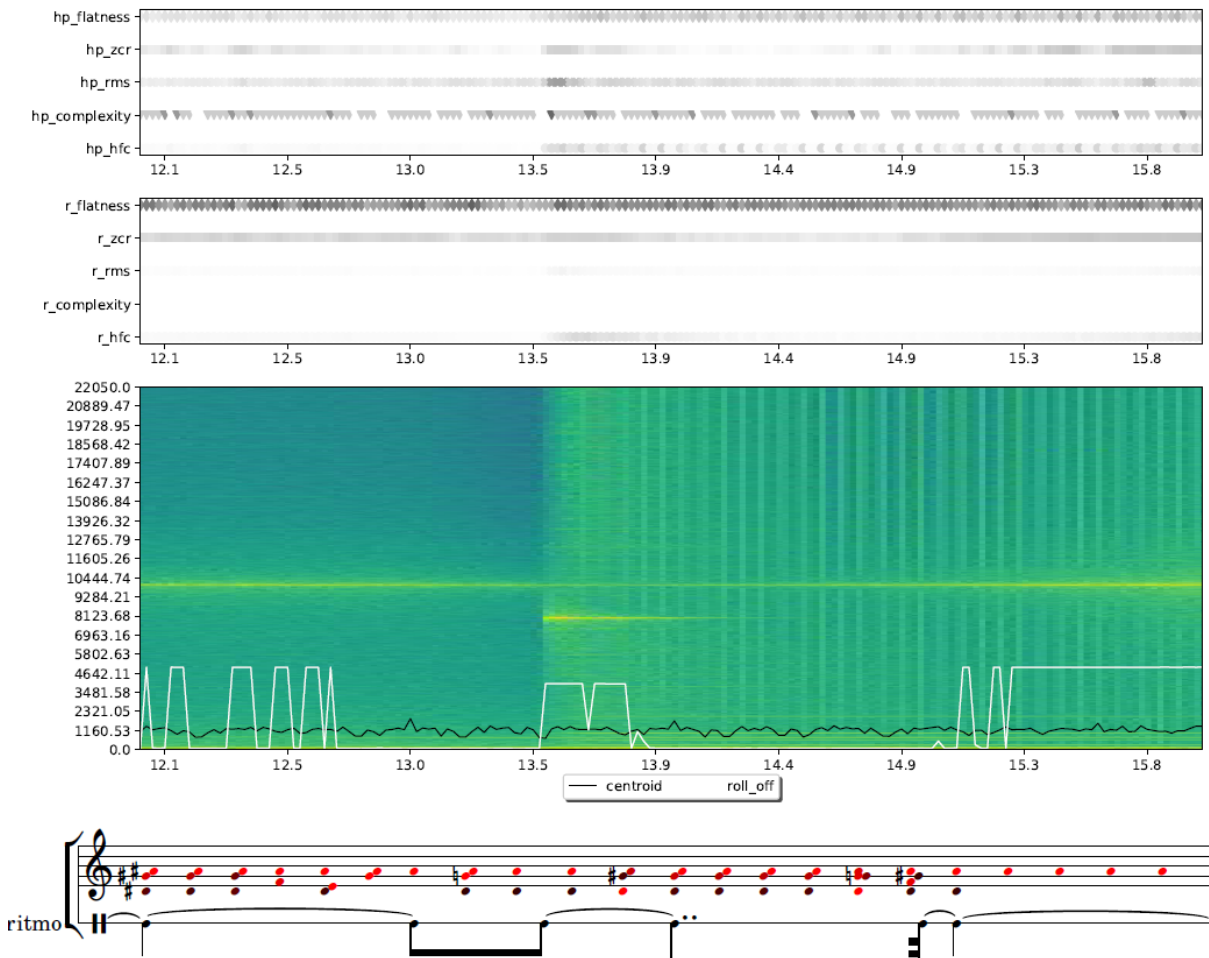


Figura 9 – Fragmento do rascunho sonoro. No topo, estão os gráficos referentes aos dados dos descritores de áudio empregados. As iniciais “hp” referem-se à versão do áudio composto por elementos harmônicos e percussivos (versão HP), e a inicial “r” refere-se à versão composta por elementos residuais (versão R)

biblioteca *Essentia*. Pelo fato de representarmos alguns destes dados por meio de notação musical, achamos conveniente gerar esse rascunho sonoro no programa de notação musical *LilyPond* por meio da biblioteca de *Python*, *Abjad*, que possibilita a geração de arquivos *LilyPond* de forma automatizada. Assim, desenvolvemos uma estrutura algorítmica que recebe os dados de áudio coletados em *Python* e gera suas respectivas representações gráficas, como na figura 9.

Ressaltamos a importância do caráter aberto e autoral desse ambiente de programação, cujo desenvolvimento e constante reestruturação fazem parte da exploração criativa aqui proposta. Nesse sentido, o funcionamento de cada componente desse ambiente está sujeito constantemente a alterações que possam contribuir para o andamento de planos composicionais.

Em *Interstício*, optamos pela formatação dos dados assim como exposto na figura

9. Pode-se observar que há uma mescla de *inscrição de sinal* e *inscrição simbólica*, assim como mencionada em nossa reflexão acerca dos métodos de visualização de Charles Seeger. Essencialmente, nenhum dos fluxos de dados apresentados na figura 9 é contínuo, tendo em vista que a análise computacional ocorre sempre por amostras num domínio discreto. Apesar disso, os dados dispostos em gráficos foram extraídos a partir de janelas de análise menores, proporcionando, portanto, uma maior resolução do desenvolvimento temporal do áudio. Por outro lado, os dados apresentados nas pautas harmônicas e rítmicas foram obtidos a partir de janelas de áudio maiores, e, por isso, oferecem uma visão mais segmentada, porém, detalhada acerca de momentos específicos.

De qualquer forma, no *rascunho sonoro* não há nada que indique, inicialmente, fragmentos ou objetos sonoros, como é o caso no sistema de representação de Thoresen e outros pesquisadores. Em nossa abordagem, delega-se a concepção de eventos ao leitor do rascunho, que a partir da “gestualidade” dos dados pode inferir o início e fim de eventos musicais. Isso faz parte do processo de escuta e *solfejo* dos dados apresentados. Para esse *solfejo*, procuramos selecionar descritores de áudio forneçam informações complementares à escuta humana. Descritores de alto nível que extraem informações altamente correlacionadas a categorias semânticas ou a aspectos psicoacústicos não nos interessam tanto. Em nosso método de escuta com máquina, em que se é delegado o processamento/interpretação dos dados de análise ao agente humano, descritores de alto nível tornam-se muitas vezes redundantes, uma vez que suas informações podem ser, em muitos casos, já identificadas pela escuta não assistida.

É comum a utilização de descritores de alto nível em métodos em que se procura desenvolver um modelo computacional da escuta humana, empregando algoritmos capazes de extrair dados sonoros numa escala psicoacústica ou relacionada a categorias semânticas do som já pré-estabelecidas. Em nosso caso, propomos justamente que a mediação de meios técnicos de análise gere dados acústicos que não necessariamente estejam associados diretamente à escuta humana, mas que possam complementá-la na medida em que apresentam outras perspectivas do fenômeno sonoro.

A interpretação dos dados ocorre a partir de um entendimento básico acerca do funcionamento dos descritores e de um processo imaginativo acerca de qualidades acústicas do som descritas por eles. Não se trata de conseguir imaginar exatamente o som do qual extraiu-se os dados, mas de permitir que nesse devaneio possam emergir sonoridades

pertinentes para um processo criativo.

3.2.2 Estímulo criativo na análise e interpretação do *rascunho sonoro*

Para um melhor aproveitamento do processo mencionado anteriormente, é interessante que o compositor tenha conhecimento acerca das técnicas de análise utilizadas, assim como de seus respectivos conceitos e algoritmos, para ser capaz de se orientar melhor na leitura dos dados. Como mencionado anteriormente, tal abordagem ainda é baseada numa dimensão especulativa, em que o interesse não se resume em criar correlações objetivas entre os dados e possíveis sons intuídos a partir deles.

A seguir, expomos algumas etapas do processo de composição da peça *Interstício*, no qual a leitura do rascunho sonoro demonstrou-se determinante, em especial, na sistematização de materiais harmônicos e timbrísticos fundamentais no desenvolvimento da obra.

A partir da figura 9, por exemplo, intuí uma sonoridade médio-aguda de baixa intensidade, composta tanto por elementos ruidosos quanto harmônicos. A referência de altura foi derivada da intensidade da cor dos *bins* entre 8000 e 10000 Hertz do sonograma e também dos valores medianos de *zero-crossing* e *high frequency content* (MASRI; BATEMAN, 1996) da versão de áudio HP (*harmonic-percussive*). Os valores medianos de *flatness* e *spectral complexity*, dessa mesma versão do áudio, indicam uma distribuição de energia relativamente homogênea e com um número considerável de picos no espectro. Essa observação provocou-me a ideia de uma sonoridade ruidosa, mas ainda com algum grau de harmonicidade. O equilíbrio de intensidade entre elementos ruidosos e harmônicos do som idealizado pôde ser intuído pelos valores de RMS das duas versões do áudio; sendo a intensidade da versão R (*residual*) consideravelmente menor que a da versão HP. As classes de altura indicadas na pauta harmônica, por sua vez, contribuíram para uma percepção acerca de intervalos presentes no espectro do áudio, nomeadamente, os de quinta, quarta e segunda maior.

Após compreender esses parâmetros sonoros e as associações que criei destes com os dados dos descritores, iniciei o processo de concretização da sonoridade geral considerando as possibilidades e limitações acústicas do violino. Para essa etapa, foi crucial a colaboração com a violinista Sofia Leandro, que se dispôs a executar a peça e colaborar

em sua composição em nossos ensaios. Ao longo desses encontros, discutimos, em especial, formas sutis de emissão de ruído no violino que poderíamos conjugar com sonoridades harmônicas. As soluções encontradas envolveram diferentes formas de arcada e de pressão sobre as cordas, como demonstrado abaixo na figura 10.

The image shows two musical staves for Violin VI. The top staff, labeled '1 spectral compander on', features a sequence of notes with dynamic markings *pp*, *mp*, *p*, and *mf*. It includes annotations 's.p.' and 'ord.' with arrows, and circled numbers 3 and 4. The bottom staff, labeled '2 off', shows notes with dynamic markings *pp*, *fp*, *mf*, and *p*, also with 's.p.' and 'ord.' annotations.

Figura 10 – Sistemas 2 e 3 da partitura de *Interstício* (Minutagem: 0:20 - 0:47).

Aqui, tanto o uso da arcada *flautado* rápida com pouca pressão (linha pontilhada) quanto a indicação da posição do arco *sul ponticello* (s.p.) configuram tentativas de adicionar ruído à execução de intervalos harmônicos de quinta. A produção de harmônicos fora dos nódulos estacionários da corda – no caso, na posição das notas dó e sol sustentados – também contribui para um efeito ruidoso.

Para a composição da harmonia deste trecho, utilizei como referência a tessitura aguda dada pelos picos espectrais predominantes no sonograma que procurei associar a harmônicos agudos no violino. A importância da região aguda do espectro também é sugerida pelos valores dados pelo descritor *high frequency content* (MASRI; BATEMAN, 1996) da versão HP do áudio, que apresenta valores consideráveis na passagem em questão do rascunho sonoro. A escolha das alturas e dos intervalos exatos baseou-se nos dados do descritor de *harmonic pitch class profile* (GÓMEZ, 2006), representado pela pauta harmônica do rascunho sonoro, que indica as classes de altura mais presentes no espectro.

É certo que nem sempre os dados demonstraram-se estimulantes para o processo composicional. Ignorei em grande parte a pauta rítmica pelo fato desta não ter me provocado tanto quanto os motivos rítmicos que eu já concebia intuitivamente ao longo da leitura de outros dados. Para além disso, a leitura do rascunho sonoro não ocorreu seguindo sua cronologia temporal, mas sim de acordo com uma constante busca por ideias em suas

páginas, sendo algumas destas de grande proveito e outras nem tanto. Nesse sentido, o rascunho sonoro demonstrou-se um bom ponto de partida para o percurso criativo. A partir dele, concebi os motivos harmônicos e timbrísticos iniciais da obra *Interstício*.

Nesse primeiro momento, a leitura do rascunho sonoro foi essencial na medida em que os dados presentes nele convergiram com ideias musicais interessantes que eventualmente guiaram o processo composicional. Posteriormente, o processo composicional centrou-se no desenvolvimento dessas ideias iniciais e em suas possibilidades de ampliação por meio de um sistema interativo simples, voltado para o processamento do som do violino em tempo real.

O sistema interativo é estruturado no ambiente de processamento de áudio em tempo real *Pure Data*. Assim como o processo de criação do rascunho sonoro, o *patch* desenvolvido também baseou-se em procedimentos de análise do som por meio de descritores de áudio. Para criar os processos interativos, explorei principalmente um paradigma de *machine-listening* comum em sistemas interativos com *live-eletronicas*, conhecido como *mapping* (mapeamento) (OLIVEIRA; PADOVANI, 2021). Este paradigma refere-se ao uso dos fluxos numéricos como fonte moduladora de parâmetros de procedimentos computacionais.

No sistema desenvolvido, utilizamos descritores de *brightness* e *flatness* para modular parâmetros de um *spectral compander*, implementado no módulo de *Pure Data*, *FFTease*. Da forma como o *componder* está implementado aqui, pode-se entendê-lo como uma técnica para achatar um espectro ou destacar seus picos. Isso possibilita tornar um áudio sonoramente mais ruidoso ou mais harmônico, respectivamente. Dentro do esquema composicional da obra, essa técnica agiu para realçar certas características timbrísticas de algumas passagens, como no exemplo a seguir:

A ideia gestual exposta na figura 11 é que o som ruidoso emitido pela grande pressão exercida sobre as cordas do violino, indicada por um trapézio sobre a pauta, seja realçado. No *patch*, quanto menores os valores passados ao *componder*, mais ruidoso torna-se o áudio. Assim, utilizei os valores obtidos pelo descritor *harmonicidade* – geralmente baixos, devido à qualidade ruidosa do som produzido pelo instrumento – para modular o parâmetro *threshold* do *componder*. Aplicou-se, da mesma forma, o descritor de *flatness* em passagens compostas por harmônicos agudos, onde este descritor registrou valores altos. Com estes valores enquanto parâmetro, o *componder* destaca componentes harmônicos do áudio,

System 10: 5 granular delay + compander
ord.
VI. *mp* *f*

System 11: *mf* *ff* *f*
Prolong ad libitum

Figura 11 – Sistemas 10 e 11 da partitura de *Interstício* (Minutagem: 1:49 - 2:30).

produzindo um efeito semelhante ao de um assobio quando aplicado sobre a execução de sons agudos no violino.

A tentativa de produzir timbres associados por mim aos dados de análise do rascunho sonoro foi, por vezes, uma tarefa difícil. Em especial, a mescla sutil e o equilíbrio entre ruído e nota foi algo pouco claro de se viabilizar tecnicamente no violino. Ao longo dos ensaios, tornou-se claro que as melhores resoluções para tais dificuldades provinham das propostas da Sofia. O que me chamou atenção, nestes casos, foi o quão sutis eram suas propostas: um pouco mais ou menos de pressão do dedo sobre o espelho, uma arcada com mais ou menos pressão, executada um pouco mais perto ou longe do tasto, etc. Em suma, alterações na técnica de execução decorrentes de uma intimidade tão grande com o instrumento que suas transcrições em partitura pareciam em vão, principalmente pelo fato delas tornarem a partitura extremamente maçante para a leitura.

A partir da exploração dos pequenos espaços entre o arco e a corda e entre o dedo e o espelho do violino, que apenas a Sofia era capaz de sentir e mensurar, surgiu a ideia portanto de *Interstício*: uma lacuna ou espaço entre dois objetos. Na medida em que eu indicava o timbre almejado, Sofia trazia proposições a partir da exploração desses pequenos espaços, e só assim foi possível atingir resultados satisfatórios para a peça. Como dito anteriormente, a parte da eletrônica foi desenvolvida apenas como uma forma de destacar ainda mais as mudanças timbrísticas produzidas no violino, procurando dar outras proporções sonoras a esses pequenos deslocamentos no corpo do violino.

3.3 Experimento alternativo de visualização de dados para processos de composição assíncrona

Ao tratar de formas alternativas de visualização sonora em processos criativos, pode-se considerar também partituras gráficas de música instrumental como uma referência visual interessante. Apesar de não dependerem, em geral, de procedimentos de análise sonora para a sua geração, alguns exemplos dessas partituras ilustram bem algumas dinâmicas de criação musical com métodos alternativos de visualização. Elas são, em muitos casos, baseadas em sistemas simbólicos completamente diferentes daquele da partitura ocidental tradicional, que podem ser determinados (símbolos associados a modos de execução específicos) ou indeterminados (símbolos sem nenhum significado pré-estabelecido).

A partitura da peça *Komodo* do compositor tcheco Rudolph Komorous, para 13 instrumentos antigos (*early instruments*), é um bom exemplo de uma partitura gráfica com algum grau de determinismo. Nela, há apenas indicações de tempo e de alturas e dinâmicas aproximadas. As letras que acompanham os gestos gráficos parecem indicar também a instrumentação e modos de ataque.

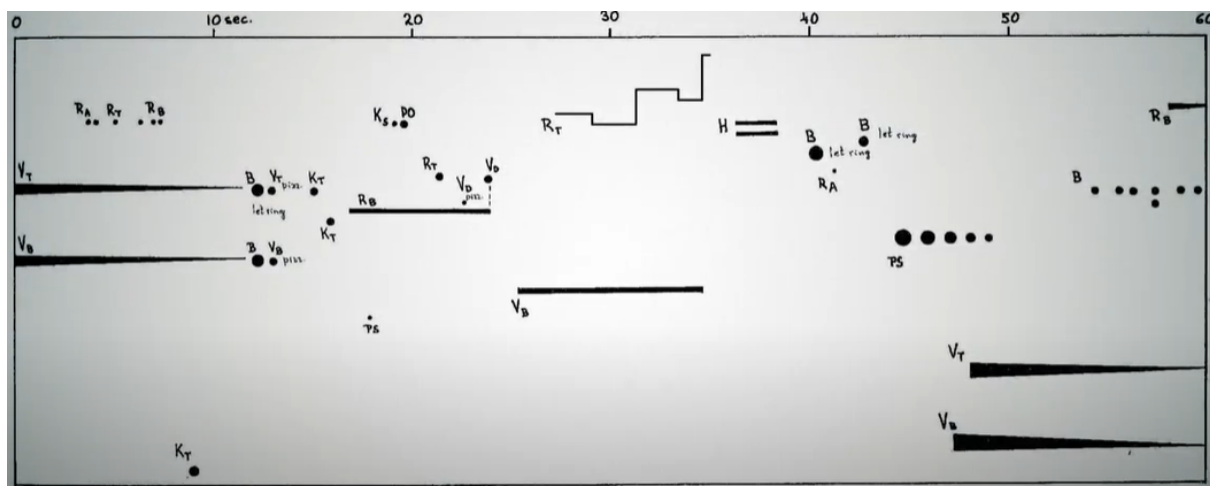


Figura 12 – Partitura de *Comodo*, de Rudolph Komorous (OPUS59FILMS, 2017)

Essa partitura mantém algumas prerrogativas de interpretação da partitura tradicional, como o eixo x indicando tempo, e o eixo y indicando altura. Partituras indeterminadas, além de não possuírem bulas, podem representar um nível de abstração tão grande que, por vezes, quebram essas prerrogativas. No livro *Notation 21*, de Theresa Sauer, é possível encontrar uma compilação de partituras com tais características, como as de Brian Schorn e Peter Hölscher.

A partitura para três improvisadores de Schorn, chamada *Nebula*, apresenta um campo textural no qual se destacam três áreas ao redor de um núcleo (em vermelho) no centro da imagem. Cada improvisador deve escolher um caminho, partindo do núcleo central, em direção ao núcleo de uma das três áreas ao redor do centro. O único parâmetro passado é o de dinâmica, representado pela cor branca (silêncio) e a preta (som) (SAUER, 2009, p.219).

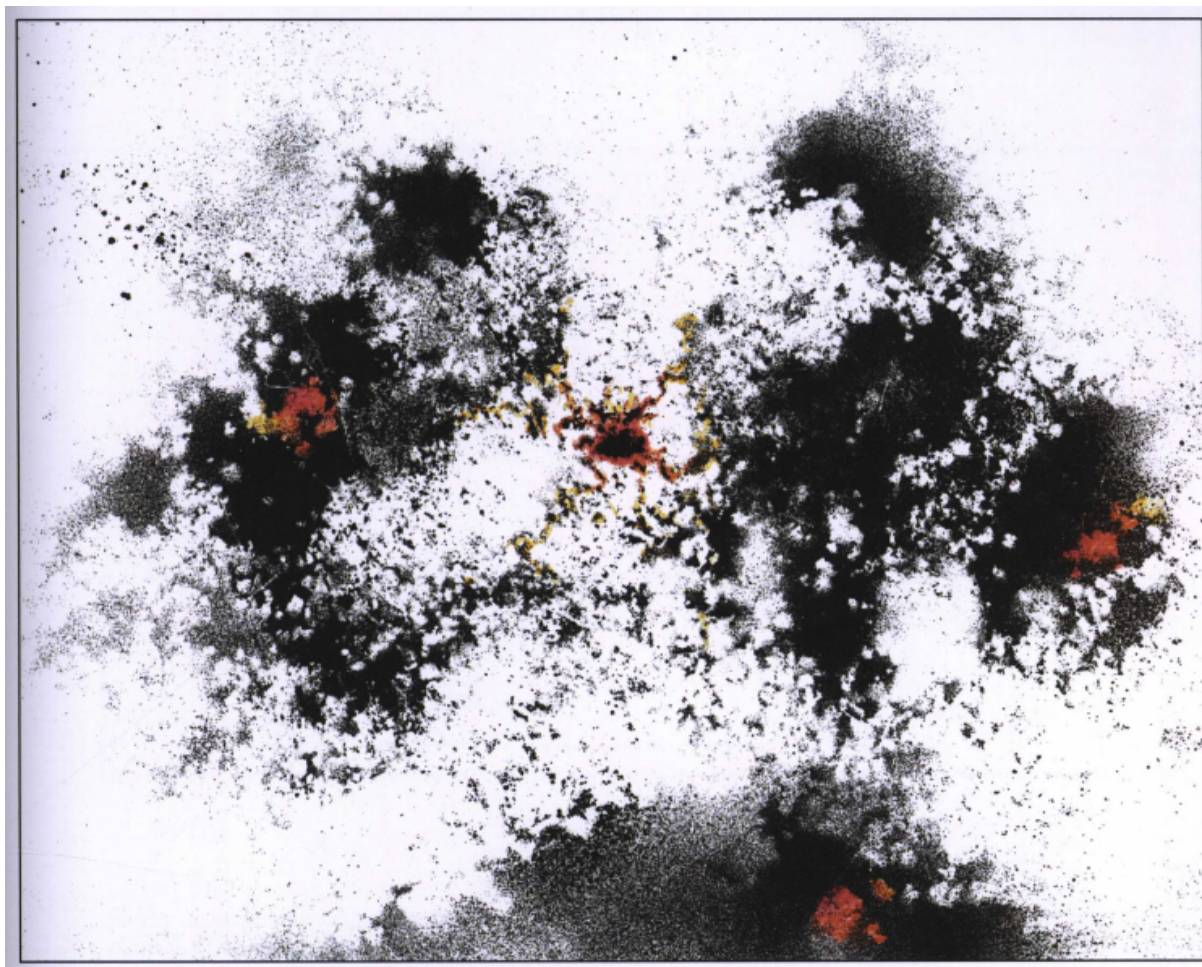


Figura 13 – Partitura de *Nebula*, de Brian Schorn (SAUER, 2009, p.219)

Outro tipo de partitura mais “abstrata” é a partitura de Hölscher, *Das Licht im Dunkel der Wolke*², que é um resultado direto da produção da série de composições *Die Wolke des Vergessens – ein synästhetisches Experiment*³, de Dietmar Bonnen. Sua leitura deve ser realizada de forma ainda mais livre, a partir de processos sinestésicos do instrumentista com a imagem (HÖLSCHER, 2007).

É interessante observar como as partituras apresentadas nas figuras 13 e 14 possuem

² *A luz na escuridão das nuvens* (tradução nossa)

³ *A nuvem do esquecimento - um experimento sinestésico* (tradução nossa).

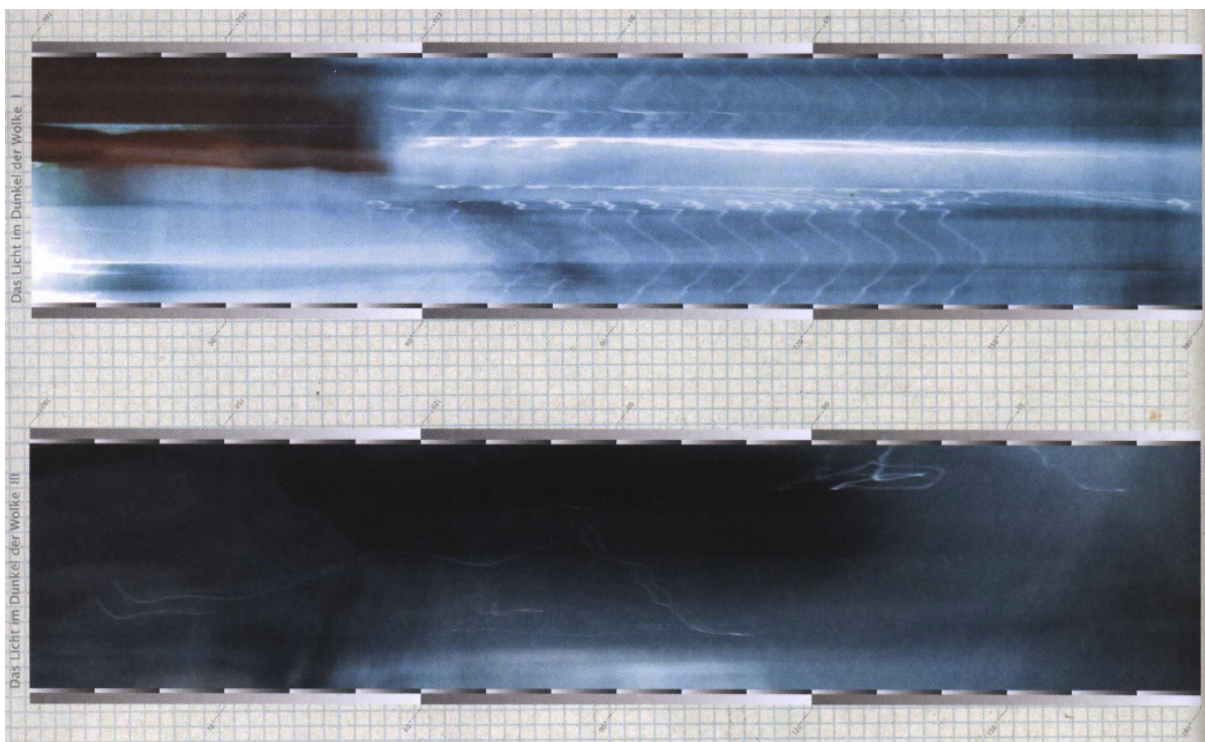


Figura 14 – Partitura de *Das Licht im Dunkel der Wolke*, de Peter Hölscher (SAUER, 2009, p.108)

um caráter visual tão impactante que talvez possam ser entendidas também como obras de arte visuais. O efeito desse impacto estético sobre a performance dessas peças é algo fora do escopo desta dissertação. Contudo, isso estimulou a geração de um segundo *rascunho sonoro* com os mesmo princípios analíticos e artísticos do primeiro, mas com formas gráficas mais expressivas. Partindo da metáfora de “pintar” ou “desenhar” com dados extraídos de áudio, procuramos associar essa outra proposta de rascunho não exclusivamente a um processo de visualização de dados, mas também a um meio de expressão visual informada por descritores de áudio que também poderia afetar a experiência de escuta em processos de composição assíncrona.

A motivação para desenvolver um segundo modelo de rascunho surgiu, especialmente, a partir da vontade de compor a partir da escuta de paisagens sonoras de localidades com as quais possuo uma ligação afetiva. Essas paisagens sonoras, pertencentes a sítios rurais no centro e norte de Minas Gerais, correspondem a texturas sonoras relativamente estáticas: som do vento balançando árvores, vertentes de água, coaxar de sapos, cantos de pássaros, etc. Com o intuito de ampliar a escuta desses lugares, procurei captar suas paisagens sonoras com microfones condensadores e de contato afim de gerar *rascunhos sonoros*, como o da peça *Interstício*, com a análise dos respectivos áudios. Devido a estaticidade dos sons captados, assim como a distância de algumas fontes sonoras no

momento da captação, os *rascunhos sonoros* gerados nos moldes do primeiro modelo de rascunho, utilizado na peça *Interstício*, não demonstraram uma variação e gestualidade pertinente para o processo criativo. Por isso, procuramos desenvolver um segundo modelo de *rascunho sonoro* com o qual fosse possível tornar mais evidente e provocante a variação dos descritores de áudio. Nesse segundo modelo, implementamos formas de visualização esteticamente mais interessantes e atribuímos pesos aos descritores utilizados, de forma a eventualmente tornar suas modulações mais perceptíveis.

Para a concretização disso, mantivemos as mesmas ferramentas de análise que utilizamos na geração do primeiro rascunho, nomeadamente, algoritmos de análise de áudio implementados em *Python* por meio da biblioteca *Essentia*. Nos exemplos apresentados a seguir desse segundo modelo de rascunho, o áudio analisado também é o mesmo do rascunho sonoro da obra *Interstício*.

Para a etapa de representação e emprego artístico desses dados, no entanto, utilizamos o ambiente de programação *openFrameworks/C++*, desenvolvido especificamente para a renderização de arte visual digital. Por meio dessa ferramenta, tornou-se possível explorar formas mais criativas de representação a partir de programas computacionais mais robustos e eficientes, como *shaders*, por exemplo. A partir disso, conseguimos gerar texturas gráficas que podem ser moduladas por dados de descritores de áudio, como no exemplo a seguir:

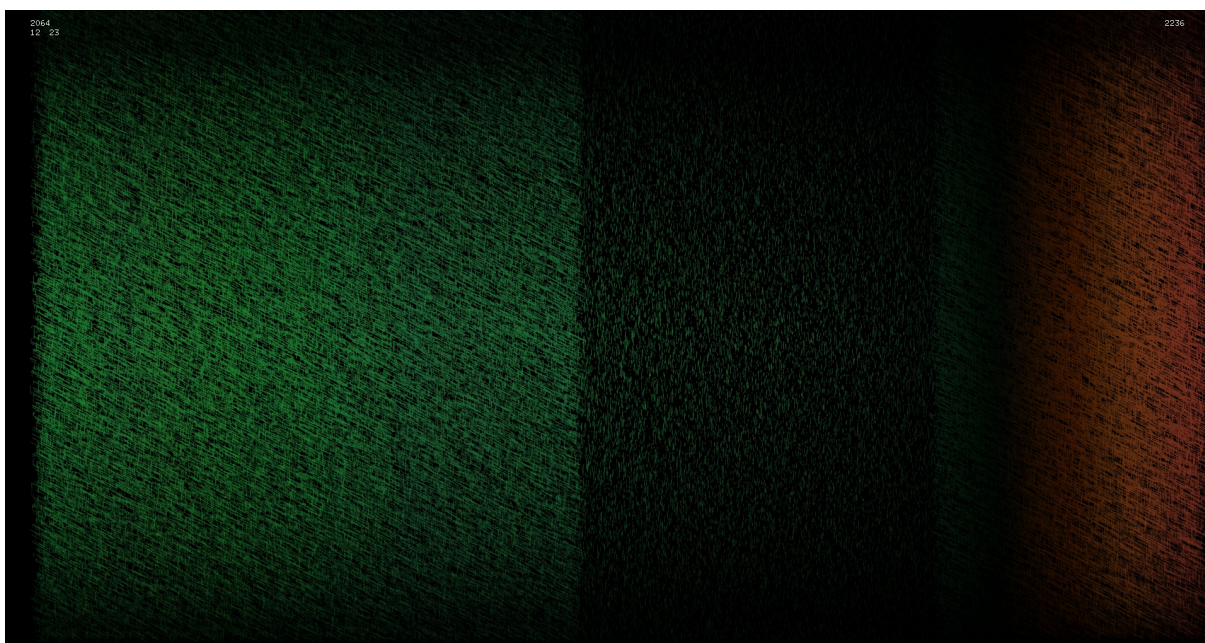


Figura 15 – Textura gráfica gerada por meio de *shaders* com parâmetros modulados por dados de descritores de áudio

*Shaders*⁴ são programas complexos, cujos funcionamentos requerem uma explicação mais detalhada do que a que seria possível no escopo deste trabalho. Por isso, para esclarecermos as relações entre dados de descritores de áudio com a figura 15, não descrevemos o procedimento técnico para sua renderização, nos limitando apenas à observação dos elementos gráficos que a compõem. Estes elementos correspondem apenas a linhas e pontos, dispostos em conjuntos mais ou menos densos. O grau de densidade desses agrupamentos é modulado por dados do descritor de *equivalent sound level* (SOULODRE, 2004), que fornece informações acerca da intensidade do áudio. Quanto mais densos são os conjuntos de linhas e pontos, mais intenso é o áudio. Já as cores desses conjuntos são determinadas por diferentes intensidades de vermelho, verde e azul (RGB). A presença dessas cores é controlada por descritores que medem a energia presente em âmbitos do espectro do áudio analisado, respectivamente, a energia entre 0 a 200 Hz, 200 a 400 Hz e 400 a 600 Hz.

Os dados de energia relativos a outras partes do espectro não demonstraram uma variação tão expressiva nesse experimento e, portanto, foram omitidos. Apesar disso, outros descritores de áudio - como o de *spectral centroid*, *flatness* e *skewness* (PEETERS, 2004) - podem informar indiretamente sobre essas outras partes do espectro. Utilizamos os dados desses descritores na geração de outra estrutura gráfica, exposta a seguir:

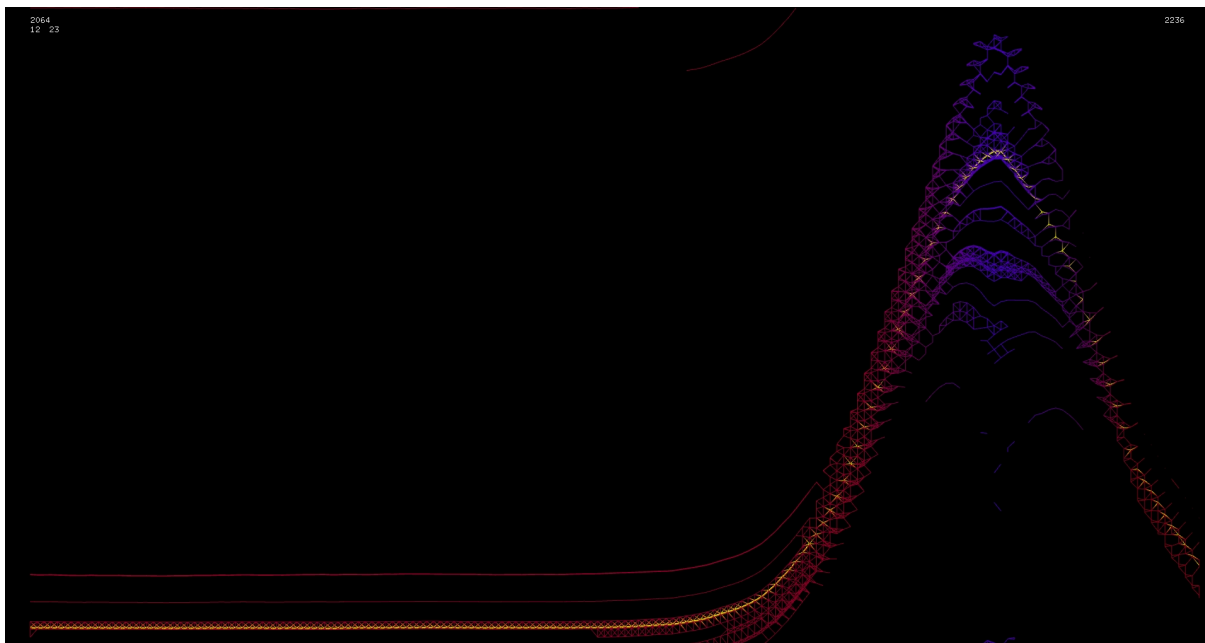


Figura 16 – Estrutura de pontos interligados gerada por meio de dados de descritores de áudio

A figura 16 é composta por pontos interligados, de cores variáveis, dispostos

⁴ Para mais informações técnicas acerca desses programas, consultar <https://thebookofshaders.com/>. Acessado em 09/02/2023.

paralelamente a uma sequência de pontos amarelos, que não mudam de cor. Esta sequência amarela corresponde a valores de *spectral centroid* dispostos de acordo com o eixo y, sendo a parte inferior da figura relativa a valores baixos desse descritor.

A distância no eixo y entre outras sequências de pontos e a linha pontilhada amarela varia de acordo com valores do descritor de *skewness*. Esse mesmo descritor modula a distância entre pontos a partir da qual estes podem ser interligados. Em outras palavras, quanto maior for o espaço ocupado por pontos no eixo y e mais longas forem as linhas traçadas entre eles, maiores são os valores de *skewness*. A quantidade de pontos no eixo y, por sua vez, é modulada pelo descritor de *flatness*. Quanto maior for o adensamento de pontos no eixo y, maior os valores desse descritor. Por fim, as cores dos pontos - com exceção dos amarelos, que não mudam de cor - são moduladas pelos descritores de *pitch salience* (RICARD, 2004) e *kurtosis* (PEETERS, 2004). Estes descritores controlam, respectivamente, os tons de verde e azul dos pontos. A cor vermelha, aqui, não está associada a nenhum descritor e indica valores baixos tanto de *pitch salience* quanto de *kurtosis*. A figura 17 corresponde à sobreposição das duas figuras anteriormente observadas.

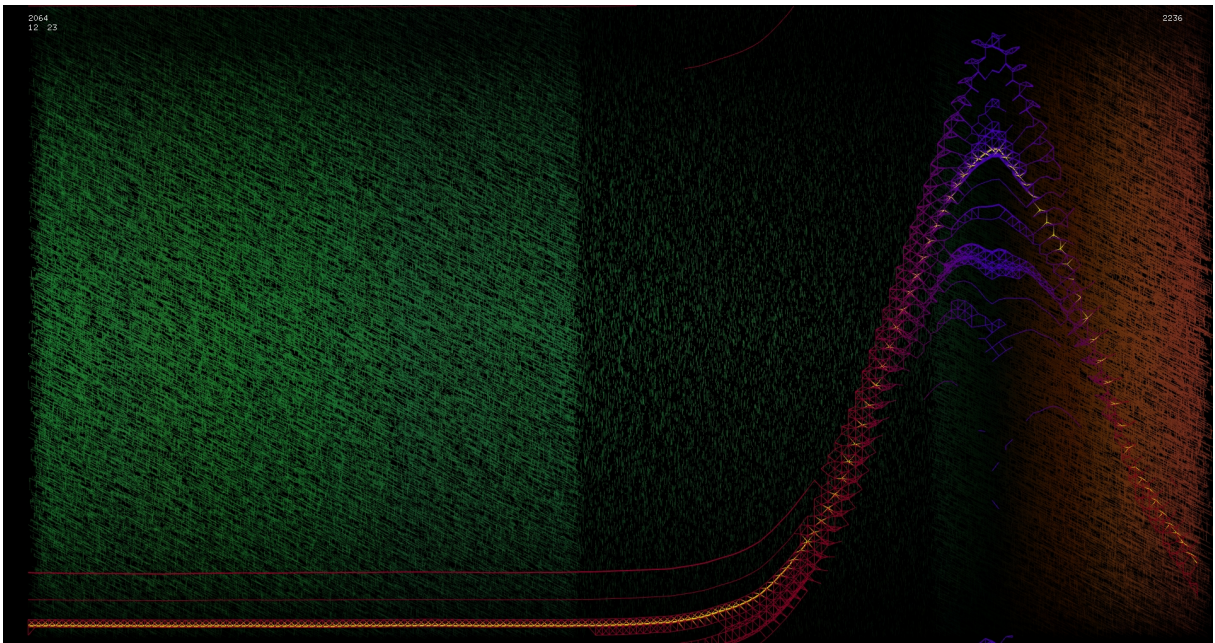


Figura 17 – Sobreposição da figura 15 com a 16

No canto direito dessa figura, é perceptível um “gesto” criado pelos fluxos de dados dos descritores. O fundo torna-se negro, o que indica a ausência de energia nas faixas de frequência entre 0 a 600 Hertz. Por outro lado, a linha amarela, modulada pelos valores de *spectral centroid*, sobe de forma quase proporcionalmente inversa ao desaparecimento

das cores do fundo, o que sugere que a energia do espectro se desloca para bandas de frequência mais altas nesse momento. Isso está associado, também, ao aumento dos valores de *skewness*, que indica uma assimetria na distribuição de energia do espectro devido a uma maior presença de frequências altas. Esses valores elevados de *skewness* provocam uma maior dispersão de pontos no eixo y. Da mesma forma, a tonalidade azul/roxa das linhas, em volta do ápice da linha amarela, representa um crescimento dos valores de *kurtosis*, o que indica uma possível formação de picos de energia no espectro.

A partir dessas constatações induzidas da figura, pode-se imaginar uma transição de uma sonoridade médio-grave inarmônica com intensidade decrescente, deduzida do canto esquerdo da figura, para um sonoridade harmônica aguda. A intensidade desse evento agudo fica aberto para especulação, uma vez que apenas as energias das bandas de frequência entre 0 a 600 Hz são diretamente representadas na figura. Poderia-se representar também a energia de bandas mais agudas. Contudo, seus valores permanecem estáticos por longos períodos de tempo no áudio analisado, com apenas curtos picos de variação. A representação desse tipo de fluxo de dados demonstrou-se pouco instigante em nossos testes preliminares, além de dificultar também o reconhecimento visual de outros dados com modulações mais interessantes. Por esses motivos, restringimo-nos à representação das intensidades de bandas médio-graves.

A omissão de certas informações pode ser não só conveniente para evitar uma “poluição” visual decorrente de um excesso de representações, como também pode provocar um pensamento composicional que procure compensar a ausência de representação de um atributo específico. Pode-se imaginar, por exemplo, a intensidade desse evento agudo de diversas formas, atribuindo-lhe direcionalidades e intenções que se relacionem bem com ideias musicais deduzidas (ou não) de outros atributos já bem representados na figura. Esse processo imaginativo faz parte da experiência de escuta e *solfejo* que esse tipo de método de visualização pode promover.

Esse modelo gráfico, representado na figura 17, é uma experimento ainda em exploração. Em testes com a análise de áudios das paisagens sonoras mencionadas anteriormente, o resultado com esse segundo modelo de rascunho demonstrou-se consideravelmente mais pertinente. Isso deve-se não apenas ao impacto estético desse rascunho, mas também à possibilidade de se atribuir diferentes pesos aos descritores, o que permite com que descritores específicos produzam maior ou menos impacto na figura gerada. Desta forma,

conseguimos salientar o movimento de fluxos de dados extraídos da análise, mesmo que estes não demonstrem, inicialmente, grandes modulações.

Para além disso, as formas de expressão visual desse segundo rascunho, baseadas em *shaders*, foram também amplamente utilizadas na performance visual da segunda composição realizada ao longo período de mestrado, para violão e sistema interativo áudio visual.

3.4 Sorte, para violão e sistema interativo audiovisual

O processo criativo de *Sorte* foi iniciado em 2020. Em um primeiro momento, minha intenção foi a de compor um estudo para violão que explorasse possibilidades percussivas do instrumento. Para isso, tomei como referência a tese de doutorado *Percussive Resources of the Classical Guitar* (FERNANDES, 2020), de Stanley Levi Fernandes, na qual o autor analisa diversas abordagens performáticas e notacionais acerca da percussão sobre o violão. Em especial, o trabalho apresenta algumas formas de mapear as áreas de percussão do instrumento, possíveis modos de ataque e suas respectivas formas de notação.

Sob grande influência da dissertação de Fernandes, desenvolvi um sistema de notação que tornasse possível a expressão simbólica das ideias musicais para o estudo percussivo. Esse sistema envolve a inclusão de uma pauta percussiva que mapeia parte do corpo do violão considerando dois planos diferentes (A,B) e o cavalete (C), para a especificação do efeito de *tambora*.

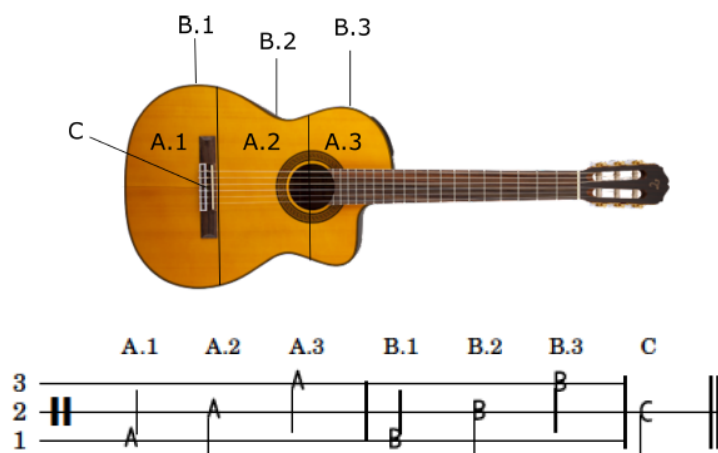


Figura 18 – Fragmento da bula de *Sorte* referente aos planos de percussão sobre o corpo do violão.

A escrita dos modos de ataque foi elaborada de forma mais referencial, a partir

de desenhos que remetem simbolicamente aos dedos e suas partes – o que permite a especificação do uso de unha ou da falange do dedo, por exemplo.

Essas ideias iniciais resultaram em um primeiro estudo explorando, a partir do sistema simbólico criado, as possibilidades composicionais do violão percussivo. As soluções encontradas para esse desafio foram suficientes para a execução desse estudo por parte do violonista Pedro Gilberto Souza, que colaborou na composição da peça e na resolução dos problemas técnicos e notacionais do processo.

Em 2022, enquanto realizava a matéria de mestrado Projetos de criação com sistemas musicais interativos B, sob orientação dos professores José Henrique Padovani, Sérgio Freire e Jalver Bethônico, revisitei o estudo com a intenção de transformá-lo num peça interativa audiovisual. Nesse período, estava inspirado pelos temas de estudo abordados no primeiro capítulo desta tese, especialmente pelos experimentos empíricos realizados por grandes cientistas acerca da propagação de ondas sobre meios físicos, como as observações de Galileu Galilei acerca de chapas de cobre em ressonância e as *Figuras de Chladni*, além dos *Ressonadores de Helmholtz*. Associei todos esses experimentos ao corpo do violão, procurando imaginar os modos de vibração de suas superfícies, quais *Figuras de Chladni invisíveis* ocorrem durante uma performance, assim como quais frequências ressoam no corpo e nas cordas do violão.

A ideia de transformar o estudo de violão em uma peça interativa audiovisual veio, inicialmente, da vontade de expandir os efeitos de ressonância do instrumento. Uma abordagem, por exemplo, foi a de tornar esses fenômenos visíveis/audíveis a partir de processos audiovisuais gerados em tempo real. Esses processos audiovisuais funcionariam, além disso, como um meio para criar outras imagens/sons inspirados por fenômenos de ressonância e pelo comportamento físico/acústico do instrumento durante a performance.

Com essa intenção, trabalhei os gestos percussivos como atos deflagrantes: eventos com transientes evidentes que marcam, pontuam, e, antes de tudo, deflagram uma dinâmica de forças que se estende para depois do ataque. Ao longo de sua propagação, essas forças já não dependem do ataque que as produziu e ganham vida própria, em parte determinadas pelo evento que as causou, mas, não obstante, imprevisíveis. Optei por explorar poeticamente essa imprevisibilidade do evento deflagrado e trabalhar composicionalmente a noção de reverberação de eventos percussivos.

Um ataque percussivo sobre o corpo do violão pode ser extremamente seco ou provocar a vibração de suas cordas. Por meio de métodos de processamento em tempo real, procurei compor reverberações inesperadas para o violão por meio de técnicas de convolução, modelamento físico (filtragem) e síntese granular.

A convolução é utilizada para mesclar o som da percussão sobre o corpo do violão com amostras de áudio de instrumentos percussivos, como bumbos e tambores. Desta forma, é possível dar outras proporções ao efeito percussivo no violão. A convolução ocorre em certos momentos da peça e é acionada na medida em que eventos percussivos são identificados por um *patch* em *Pure Data* voltado para a detecção de *onsets*.

Os processos de filtragem, por sua vez, foram pensados como uma forma de emular o comportamento de um *Ressonador de Helmholtz*. Nesse caso, o a filtragem procura identificar frequências, escolhidas anteriormente, e as prolongar, como se o violão ou até mesmo o próprio ambiente da performance adquirissem os modos de ressonância dessas frequências e estendessem suas durações. O conjunto de frequências escolhidas para o processo de reverberação é alterado ao longo da peça.

A granulação também é utilizada para prolongar os sons do violão explorando, no entanto, processos menos lineares do que aqueles de filtragem. A ideia é gravar em um *buffer* momentos percussivos sobre o corpo do violão e realizar uma síntese granular a partir desse *buffer*. Com isso, torna-se possível sustentar o momento capturado na medida em que a produção dos sons percussivo transiciona sutilmente do meio acústico para o acusmático. A síntese granular produz uma versão mais caótica do momento capturado por meio da variação de altura e frequência de reprodução dos *grãos* extraídos do *buffer*.

Ao realizar experimentos com os processos de convolução, filtragem e síntese granular, ficou claro para mim o quão imprevisíveis as reverberações podem se tornar. O ataque sobre o corpo do violão passou a me evocar uma ideia de um evento com grandes contingências, fortuito, que me remeteu a ideia de sorte: um acaso, um decorrer de eventos que escapa ao controle. Algo que, num movimento entrópico, se estende até fisicamente se dissipar, mas que, no entanto, se prolonga no ouvinte e compõe sua experiência de escuta, evocando-lhe imagens e sonoridades.

Optei por explorar a ideia de imagens também de forma literal, incorporando ao sistema interativo um aplicativo, escrito em *openFrameworks/C++*, estruturado para gerar

imagens baseadas em duas ideias: 1) utilizar atributos de áudio extraídos em tempo real para tornar visíveis certos aspectos do som, e 2) explorar poeticamente a ideia de sorte abordada anteriormente. O que pareceu sumarizar esses dois motivos foi o processo de geração de *Figuras de Chladni*. Essas figuras são tradicionalmente produzidas utilizando uma chapa de metal coberta por areia. Esfrega-se um arco de violino na placa, e, na medida que a fricção entre o arco e placa emitem uma altura definida e estável por tempo suficiente, a areia é repelida de alguns lugares e acumulada em outros onde se localizam os nódulos estacionários do modo de vibração da placa. Desta forma, produz-se uma imagem, por meio de movimentos caóticos dos grãos de areia sobre a placa, cuja forma é diretamente relacionada à vibração gerada pela fricção com o arco.

A forma saltitante de como os grãos se deslocam sobre a placa lembrou-me o movimento de dados, utilizados para representar um acaso/aleatoriedade, e de búzios, utilizados em rituais de clarividência comuns em algumas religiões de matriz africana. A associação com os dados e o ritual de búzios me motivaram a abordar imagens de cartas de Tarot, aproveitando seu sentido tanto lúdico, como jogo de carta, como seu sentido mais exotérico, explorado em sessões de adivinhação.

A partir dessas ideias estruturei em *openFrameworks/C++* uma performance visual inspirada no movimento caótico de grãos no processo de geração de *Figuras de Chladni*. Nessa performance, os grãos possuem dois comportamento principais: um estático e uniforme, quando imagens de Tarot tornam-se reconhecíveis⁵, e outro, no qual são geradas *Figuras de Chladni*. Outras dinâmicas de deslocamento desses grãos intercalam esses momentos. Independente do momento, as cores dos grãos correspondem às cores da última carta de Tarot apresentada.

Além do processamento em tempo real do som do violão, há também alguns momentos nos quais são difundidos sons acusmáticos fixos. Em dois destes momentos, nos compassos 11 e 33, pede-se ao violonista para improvisar percussivamente sobre o corpo do violão junto à eletrônica, criando uma outra dinâmica de interação com o instrumentista e a difusão acusmática. Nesses momentos de improviso, é acionado o processo de convolução do sons do violão com amostras de áudio de instrumentos percussivos. Diferentemente dos outros momentos nos quais esse processamento ocorre, na improvisação a convolução é acionada por processos estocásticos, de forma que ela ocorra de forma imprevisível na

⁵ As cartas de Tarot são escolhidas aleatoriamente a partir de um banco de imagens.

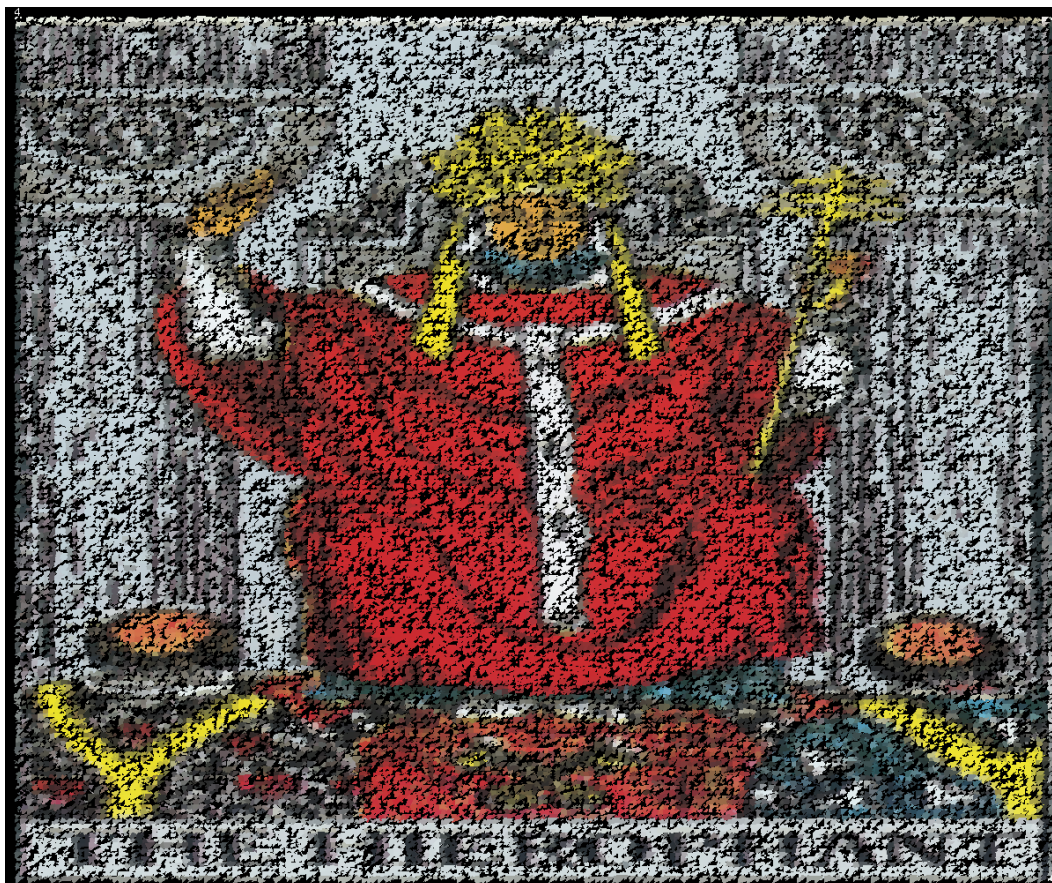


Figura 19 – Momento onde os grãos estão estáticos e a figura de uma carta de Tarot fica aparente.

medida em que são identificados os gestos percussivos do instrumentista sobre o corpo do violão.

Esse comportamento do processo de convolução coloca o próprio instrumentista numa posição incerta, comum à própria dinâmica do improviso, mas também intensificada pela resposta mais errática da eletrônica em tempo real.

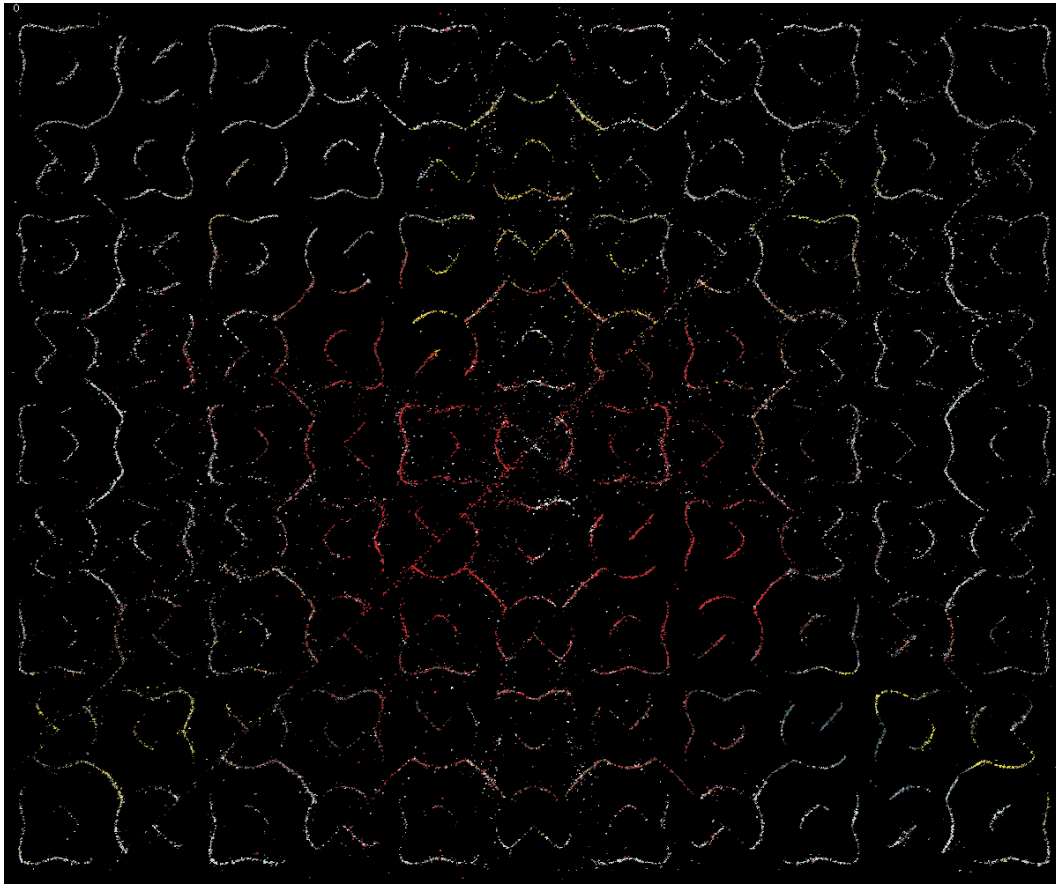


Figura 20 – Momento em que é gerada uma *Figura de Chladni* baseada nas duas frequências mais predominantes de um evento percussivo.

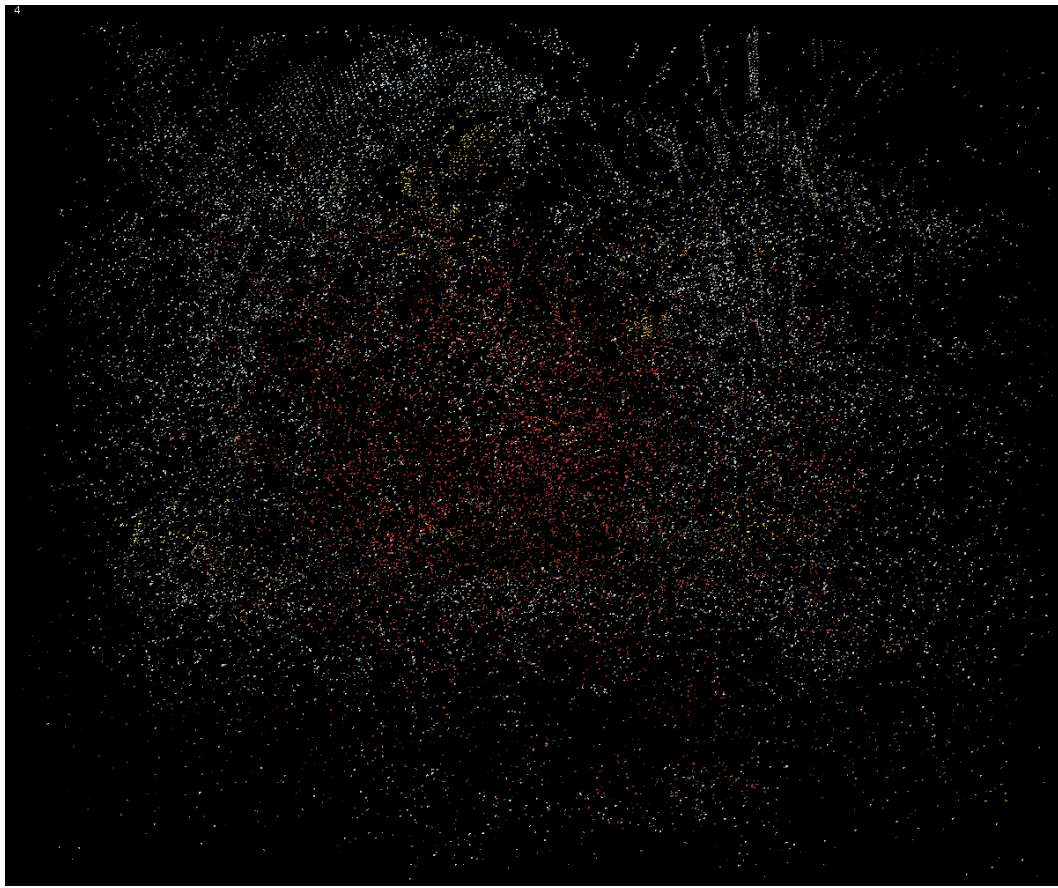


Figura 21 – Movimento caótico dos grãos durante outros momentos.

Conclusão

O objetivo principal desta dissertação é a exploração de técnicas de análise, processamento e visualização de som/áudio enquanto meios capazes de ampliar nossa experiência de escuta em processos criativos. Observamos isso, em parte, no primeiro capítulo, ao abordarmos a linha de desenvolvimento teórico e tecnológico acerca da acústica. No segundo capítulo, fazemos uma revisão acerca de como meios técnicos oriundos dessa linha de desenvolvimento das ciências exatas passaram a ser utilizados em práticas artísticas.

Um bom exemplo disso é o uso de descritores de áudio como base para a criação de sistemas interativos musicais dentro do paradigma de *escuta de máquina*. Apesar das finalidades dessas ferramentas nesses casos serem distintas de áreas das ciências exatas — como a de *Auditory Scene Analysis* e de *Speech Recognition* —, o emprego dessas ferramentas enquanto referências para a identificação e classificação de eventos sonoros é, por vezes, muito similar. Pode-se especular que isso ocorra devido ao fato de que essas abordagens, por mais diferentes que sejam, partilhem, em alguns casos, de um mesmo objetivo técnico: o modelamento computacional da escuta humana.

Em parte, utilizamos também essa abordagem na composição da peça *Sorte*. Nela, a identificação de eventos percussivos no violão é de grande importância para o acionamento de processamentos de áudio e imagem. Somente a partir desses procedimentos de extração de dados conseguimos criar relações expressivas entre as três mídias que integram essa composição, e, com isso, expressar artisticamente a ideia poética por trás da peça.

Contudo, nesta dissertação, procuramos oferecer uma abordagem alternativa em relação ao uso de descritores de áudio na criação musical, principalmente para a composição assíncrona instrumental. Para tanto, propomos o termo alternativo *escuta com máquina* que corresponde melhor à abordagem que desenvolvemos ao longo do mestrado. A partir dessa proposta, realizamos uma reflexão mais ampla acerca da escuta em processos criativos, apresentando perspectivas complementares acerca de aspectos intrinsecamente humanos da experiência de escuta, como as noções de *imagem*, *sonoridade* e *solfejo*. Propomos reflexões acerca dos possíveis impactos da visualização de dados de descritores de áudio nessa experiência, a partir do desenvolvimento de *rascunhos sonoros* que viabilizam a

integração deles ao *solfejo* do processo de criação.

Para a composição de *Interstício*, o *rascunho sonoro* demonstrou-se uma forte fonte de inspiração, apresentando fluxos de dados muito gestuais e com contrastes marcantes. Talvez esse tenha sido o caso devido ao fato do áudio analisado para geração do *rascunho sonoro* ter sido já um discurso musical, um estudo acusmático baseado na sobreposição e concatenação de eventos de diversas qualidades sonoras. Os fluxos de dados da análise do estudo acusmático refletem também esse dinamismo e, por isso, talvez tenha sido mais intuitiva a dedução de ideias musicais a partir deles.

Um dos meus desejos ao desenvolver essa pesquisa foi conseguir compor peças acerca de lugares que me marcaram. Captar sons, que de alguma forma sintetizassem minha experiência afetiva relativa a esses lugares, com os quais eu poderia trabalhar poeticamente e musicalmente com o apoio dos métodos de análise e visualização sonora desenvolvidos ao longo da pesquisa. Com esse intuito, realizei gravações de paisagens sonoras de alguns destes lugares utilizando, inclusive, meios alternativos de captação, como microfones de contato, para tentar obter a maior variedade possível de sons nessas localidades.

No momento de analisar os áudios, algumas movimentações que eu era capaz de escutar na paisagem sonora não eram tão facilmente imprimidas nos fluxos de dados da análise. Estes, por sua vez, possuíam poucas variações significantes que pudessem sugerir uma ou outra ideia musical. Na tentativa de tornar esses fluxos de dados mais interessantes, desenvolvi o experimento do segundo rascunho sonoro realizado em *openFrameworks/C++*, explorando também uma expressão visual mais acentuada que pudesse influenciar diretamente o processo criativo, mas também salientando variações mais sutis nos fluxos dos dados de análise.

Um dos possíveis desenrolares desta pesquisa de mestrado é uma maior exploração dessa escuta criativa de paisagens sonoras, por meio não só de processos de gravação e análise, como também de um manuseio de gravações que possa resultar em peças eletroacústicas e/ou materiais que possam render processos de análise interessantes a partir dos métodos de visualização de dados desenvolvidos ou de outras abordagens. Nesse contexto, além de utilizar processos de análise e visualização de dados, penso que seria interessante também utilizar formas alternativas de captação sonora — como microfones

de contato e hidrofones — que possam também contribuir para um enriquecimento da experiência de escuta desses lugares.

Referências Bibliográficas

- AMATRIAIN, Xavier. **An Objected Oriented Metamodel for Digital Signal Processing: with a focus on Audio and Music**. 2004. Tese (Doutorado).
- BACHRATÁ, Petra. *Interação Gestual na Música para Instrumentos e Sons Electroacústicos*, p. 349, 2010.
- BAILLET, Jérôme. **Gérard Grisey: fondements d'une écriture**. Paris: L'Itinéraire : L'Harmattan, 2000. 262 p. (Collection Musique et musicologie). ISBN 978-2-7384-9590-7.
- BARROS, Daniel Paes de. **Prologue, Périodes, Partiels e Modulations, de Gérard Grisey**: 2013. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo Escola de Comunicações e Artes, São Paulo.
- BONAFÉ, Valéria. The experience of sonority: the dangers of a journey into the unknown. **Interference Journal**, 2018. Disponível em: <<<http://www.interferencejournal.org/the-experience-of-sonority-the-dangers-of-a-journey-into-the-unknown/>>>. Acesso em: 25 ago. 2023.
- BRESSON, Jean; CHADABE, Joel. Interactive Composition: New Steps in Computer Music Research. **Journal of New Music Research**, v. 46, n. 1, p. 1–2, 2 jan. 2017. ISSN 0929-8215, 1744-5027. DOI: <10.1080/09298215.2017.1288748>. Disponível em: <<<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09298215.2017.1288748>>>. Acesso em: 16 mai. 2023.
- CAESAR, Rodolfo. A espessura da sonoridade: entre o som e a imagem. **Anais do XXIII Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música**, 2013. Disponível em: <<https://www.academia.edu/6662138/A_espessura_da_sonoridade_entre_o_som_e_a_imagem>>. Acesso em: 25 ago. 2023.
- CATANZARO, Tatiana. **Transformações na linguagem musical contemporânea instrumental e vocal sob a influência da música eletroacústica entre as décadas de 1950-70**. Rio de Janeiro, RJ: 7 Letras, 2018. ISBN 978-85-421-0370-0.
- CELLA, Carmine-Emanuele. Orchidea: a comprehensive framework for target-based computer-assisted dynamic orchestration. **Journal of New Music Research**, Routledge, v. 51, n. 1, p. 40–68, 2022. DOI: <10.1080/09298215.2022.2150650>. eprint: <<https://doi.org/10.1080/09298215.2022.2150650>>. Disponível em: <<<https://doi.org/10.1080/09298215.2022.2150650>>>.
- DIXON, Simon. Simple Spectrum-Based Onset Detection, p. 4, 2006.
- DRIEDGER, Jonathan. EXTENDING HARMONIC-PERCUSSIVE SEPARATION OF AUDIO SIGNALS. **International Society for Music Information Retrieval Conference**, p. 7, 2014.

FEASTER, Patrick; SCOTT, Édouard-Léon. **The Phonautographic Manuscripts of Édouard-Léon Scott De Martinville**. 2010. Disponível em:

<<<https://firstsounds.org/publications/articles/Phonautographic-Manuscripts.pdf>>>.

Acesso em: 26 ago. 2023.

FERNANDES, Stanley. **PERCUSSIVE RESOURCES OF THE CLASSICAL GUITAR**. 2020. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FREIRE, Sérgio; PADOVANI, José Henrique; CAMPOS, Caio Costa. Schaeffer's Solfège, Percussion, Audio Descriptors: Towards an Interactive Musical System. **Revista Vórtex**, v. 10, n. 1, 30 abr. 2022. ISSN 2317-9937. DOI: <10.33871/23179937.2022.10.1.4693>.

Disponível em:

<<<https://periodicos.unespar.edu.br/index.php/vortex/article/view/4693>>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

GALILEO, Galilei. **Dialogues Concerning Two New Sciences**. [S.l.]: Courier Corporation, 1954. 300 p.

GÓMEZ, Emilia. Tonal Description of Polyphonic Audio for Music Content Processing. **INFORMS Journal on Computing**, v. 18, n. 3, p. 294–304, ago. 2006. ISSN 1091-9856, 1526-5528. DOI: <10.1287/ijoc.1040.0126>. Disponível em:

<<<http://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/ijoc.1040.0126>>>. Acesso em: 31 jan. 2023.

GRISEY, Gérard; LELONG, Guy; RÉBY, Anne-Marie. **Ecrits, ou, L'invention de la musique spectrale**. Paris: MF, 2008. 376 p.

GUATIMOSIM, Júlio; PADOVANI, José Henrique; GUATIMOSIM, Carlos. Concatenative Sound Synthesis as a Technomorphic Model in Computer-Aided Composition. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO MUSICAL. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Computação Musical (SBCM 2021)**. Brasil: Sociedade Brasileira de Computação - SBC, 24 out. 2021. P. 88–94. DOI:

<10.5753/sbcm.2021.19431>. Disponível em:

<<<https://sol.sbc.org.br/index.php/sbcm/article/view/19431>>>. Acesso em: 27 jan. 2023.

HÖLSCHER, Peter. **Das Licht im Dunkel der Wolke**. 2007. Disponível em:

<<<https://obst-music.com/cds/bonnen-hoelscher-licht.htm>>>. Acesso em: 29 ago. 2023.

HUNT, Frederick V. **Origins in Acoustics: The Science of Sound from Antiquity to the Age of Newton**. 1nd ed. [S.l.]: Yale University Press, 1978. 196 p.

IAZZETTA, Fernando. **Música e Mediação Tecnológica**. [S.l.]: Perspectiva: Fapesp, 2009.

KANNO, Mieko. Prescriptive notation: Limits and challenges. **Contemporary Music Review**, v. 26, n. 2, p. 231–254, abr. 2007. ISSN 0749-4467, 1477-2256. DOI:

<10.1080/07494460701250890>. Disponível em:

<<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07494460701250890>>>. Acesso em: 13 mar. 2023.

- LAURIER, Cyril et al. Indexing music by mood: design and integration of an automatic content-based annotator. **Multimedia Tools and Applications**, v. 48, n. 1, p. 161–184, 2009. ISSN 1380-7501, 1573-7721. DOI: <10.1007/s11042-009-0360-2>. Disponível em: <<<http://link.springer.com/10.1007/s11042-009-0360-2>>>. Acesso em: 31 jan. 2023.
- MAGNUSSON, Thor. **Sonic Writing: Technologies of Material, Symbolic, and Signal Inscriptions**. United States of America: Bloomsbury Academic, 2019. 290 p.
- MASRI, Paul; BATEMAN, Andrew. Improved Modelling of Attack Transients in Music Analysis-Resynthesis, p. 4, 1996.
- OLIVEIRA, Vinícius. **Estratégias composicionais voltadas ao emprego de Machine Listening e Music Information Retrieval no contexto da live-electronics**. 2022. F. 202. masterthesis.
- OLIVEIRA, Vinícius Cesar de; PADOVANI, José Henrique. Map, Trigger, Score, Procedure: machine-listening paradigms in live-electronics, p. 33, 2021.
- OPUS59FILMS. **Rudolf Komorous: 13 Preludes For 13 Early Instruments (CMC BC's Legacy Composer Film Series) (2017)**. 2017. Disponível em: <<<https://www.youtube.com/watch?v=LkKbYSnvku0&t=721s>>>. Acesso em: 29 ago. 2023.
- PADOVANI, José Henrique; BARBOSA, Rogério Vasconcelos. Música e visualização: abordagens interativas para análise e composição, p. 8, 2013.
- PEETERS, Geoffroy. A LARGE SET OF AUDIO FEATURES FOR SOUND DESCRIPTION IN THE CUIDADO PROJECT, 2004.
- PENHA, Gustavo. **Entre escutas e solfejos: afetos e reescrita crítica na composição musical**. 16 fev. 2016. Doutor em Música – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. DOI: <10.47749/T/UNICAMP.2016.968254>. Disponível em: <<<https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=482724>>>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- PISKO, Fr. **Die Neueren Apparate der Akoustik**. Wien: Carl Gerold's Sohn, 1865. 273 p. Disponível em: <<<https://ia800908.us.archive.org/13/items/dieneuerenappar00piskgoog/dieneuerenappar00piskgoog.pdf>>>. Acesso em: 3 mai. 2023.
- PSENICKA, David. SPORCH: An Algorithm for Orchestration Based on Spectral Analyses of Recorded Sounds. en. In: PROCEEDINGS of the 29th International Computer Music Conference. Singapore: Michigan Publishing, 2003. P. 1–4.
- RICARD, Julien. Towards computational morphological description of sound, p. 75, 2004.
- ROWE, Robert. **Interactive music systems: machine listening and composing**. Cambridge: MIT press, 1993. Disponível em: <<<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=530519>>>. Acesso em: 24 ago. 2023.
- SALLIS, Friedemann et al. (Ed.). **Live electronic music: composition, performance, study**. Abingdon, Oxon ; New York, NY: Routledge, 2018. 340 p. (Routledge research in music). ISBN 978-1-138-02260-7.

- SAUER, Theresa. **Notations 21**. [S.l.]: Mark Batty Publisher, 2009. 323 p.
- SCHAEFFER, Pierre. **Traité des Objets Musicaux**. Paris: Éditions du Seuil, 1966.
- SCHWARZ, Diemo et al. Real-Time Corpus-Based Concatenative Synthesis With CATART. en. In: PROCEEDINGS of the 9th Int. Conference on Digital Audio Effects. Montreal, Canada: [s.n.], 2006. P. 1–7.
- SCOTT, Édouard-Léon. **Brevet d’Invention (1857) and Certificat d’Addition (1859)**. 1857. Disponível em: <<https://firstsounds.org/publications/facsimiles/FirstSounds_Facsimile_02.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2023.
- SEEGER, Charles. PRESCRIPTIVE AND DESCRIPTIVEMUSIC-WRITING. **The Musical Quaterly**, v. 42, p. 184–195, 1958.
- SIMURRA, Ivan Eiji Yamauchi. **Contribuição ao problema da orquestração assistida por computador com suporte de descritores de áudio**. 2016. Doctor of Music Thesis – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- SOLOMOS, Makis. Analysing the First Electroacoustic Music of Iannis Xenakis. 5th, p. 9, 2002.
- SOULODRE, Gilbert A. Evaluation of Objective Loudness Meters, p. 12, 2004.
- STERNE, Jonathan. **The Audible Past: Cultural Origins of Sound Reproduction**. [S.l.]: Duke University Press, 2003. P. 452.
- SZENDY, Peter. **Listen: A History of Our Ears**. Tradução: Charlotte Mandell. [S.l.]: Fordham University Press, 25 ago. 2009. ISBN 978-0-8232-3788-3. DOI: <10.2307/j.ctt13x002m>. Disponível em: <<<http://www.jstor.org/stable/10.2307/j.ctt13x002m>>>. Acesso em: 16 jun. 2023.
- THORESEN, Lasse; HEDMAN, Andreas. Spectromorphological analysis of sound objects: an adaptation of Pierre Schaeffer’s typomorphology. **Organised Sound**, v. 12, n. 2, p. 129–141, ago. 2007. ISSN 1355-7718, 1469-8153. DOI: <10.1017/S1355771807001793>. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S1355771807001793/type/journal_article>>. Acesso em: 21 set. 2022.
- TRUAX, Barry. **Acoustic communication**. [S.l.]: Greenwood Publishing Group, 2001.
- ULLMAN, Dieter. **Chladni und die Entwicklung der Akustik von 1750–1860**. Basel: Birkhäuser Basel, 1996. 238 p. ISBN 978-3-0348-9941-3 978-3-0348-9195-0. DOI: <10.1007/978-3-0348-9195-0>. Disponível em: <<<http://link.springer.com/10.1007/978-3-0348-9195-0>>>. Acesso em: 6 ago. 2022.
- VELLOSO, José Henrique Padovani. **Música e técnica: reflexão conceitual, mecanologia e criação musical**. 2013. Tese (Doutorado).

WATERS, Simon. Touching at a Distance: Resistance, Tactility, Proxemics and the Development of a Hybrid Virtual/Physical Performance System. **Contemporary Music Review**, v. 32, n. 2, p. 119–134, jun. 2013. ISSN 0749-4467, 1477-2256. DOI:

<10.1080/07494467.2013.775818>. Disponível em:

<<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07494467.2013.775818>>>. Acesso em: 6 set. 2023.

WILSON, Peter Niklas. Vers une 'écologie des sons': Partiels de Gérard Grisey et l'esthétique du groupe de l'Itinéraire. **Entretemps**, v. 8, p. 56–81, 1989.

WITTJE, Roland. **The Age of Electroacoustics: Transforming Science and Sound**. [S.l.]: The MIT Press, 2016. 312 p. ISBN 9780262035262.

Anexos

ANEXO A – Partitura de *Insterstício*, para
violino e eletrônica em tempo real

Interstício
(Interstice)
for violin and live-electronics (stereo)




Júlio Guatimosim

2022

Notation Remarks

Duration lines:

Mostly of the piece is written in proportional notation, therefore the notion of duration and rhythm in this case should be more spontaneous and subjective. The duration lines may have other informations about how the sounds should be played, namely:

- Vibrato : 
- No vibrato: 
- Flautado with no vibrato: 

A mixture of noise and ton should be produced at moments with flautado playing and not-in-node harmonics.

Score in C

Interstício

for violin and live-electronics

Júlio Guatimosim
in collaboration with Sofia Leandro

♩ = 65

Violin

s.p. → *ord.* → *ord.* →

fp *mp* *pp* *fp* *mf*

2

VI.

s.p. → *ord.* →

pp *mp* *p* *mf*

1 spectral compander on

3

VI.

s.p. → *ord.* →

pp *fp* *mf* *p*

2 off

4

VI.

s.p. → *ord.* →

mf *mf* *subito pp* *f* *mf* *mp*

3 spectral compander on

5

VI.

s.p. → *ord.* →

mf *mp* *f* *mp*

3 spectral compander on

6

VI.

s.p. → *ord.* →

mf *fp* *mf*

3 spectral compander on

7

VI. 4 off

pp *mf* *f* *fp*

8

VI. *ord.* *s.p.* *s.p.*

mf *p*

9

VI. 5 granular delay + compander

ord.

mp *f*

10

VI. Prolong ad libitum

mf *ff* *f*

11

VI. 6 granular delay off 7 compander off

pp *mf* *f* *mp*

12

VI. 8 granular delay + compander

Improvise with glissandos between harmonics. Always flautado.
Prolong ad libitum

mf *p* *mf* *p*

13

VI. 9 granular delay off compander off 10 granular delay on 11 fade out

f *p* *mf* *ppp*

ANEXO B – Partitura de *Sorte*, para violão e sistema interativo audiovisual

Sorte

para violão e sistema interativo audiovisual

Júlio Guatimosim

26/09/2022

Notation remarks

General

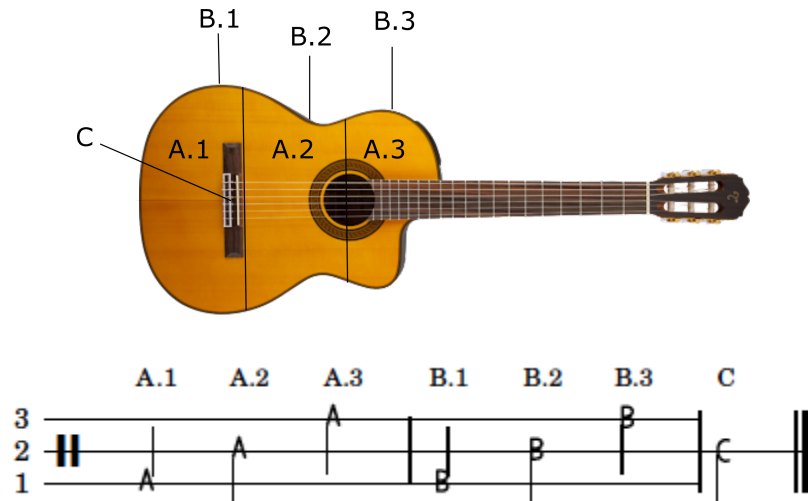
T - Indication to produce a note by tapping on the string

R.H. **L.H.** - Indication of right hand and left hand, respectively


≡ **≡≡** - *Tremollos* should be played as fast as possible in both staves


Percussion

The guitar part is divided in two staves: one for the harmonic events on the strings and other for the percussive events on the body of the guitar. For the notation of the latter, the body of the guitar was split into three different planes (A, B and C), corresponding to the soundboard, side of the body, and bridge, respectively. The planes A and B were divided into three different areas (1,2 and 3). The plane C has only one area and will represent the technique *tambora* in the percussive staff.

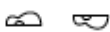



Modes of percussion

 - Strike with the nail(s)


 - Strike with the thumb


 - Strike with the fingertip(s)

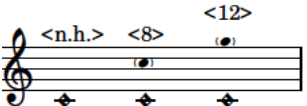
 - Percussion on the upper or lower part of the guitar

 - Strike with the lower part of the finger(s)

Strings

 - *Tambora*: Strike at the bridge to make the pressed notes resonate

 - Play the second note by pulling out the finger pressed on the first note

 - $\langle n.h. \rangle$ = natural harmonic
 - $\langle 8 \rangle$ = octave artificial harmonic
 - $\langle 12 \rangle$ = fifth artificial harmonic

Sorte

for solo guitar

Júlio Guatimosim

26/09/2022

⑥ = Eb

♩ = 60

Guitar

⑥

<n.h.>

mp

f

1 granulação da percussão

f < pp < mf < p < mp > pp

≈ 7"

2 convolução da percussão do violão com sons de tambores e afins

mf

f

mf

p

mp

pp

<n.h.>

mp

f

mp

ppp

p

ppp

≈ 5"

3 sample1

mf

f

Improvisar junto à eletrônica interagindo com ela utilizando apenas efeitos percussivos sobre as superfícies do violão

12

Musical score for measures 12-14. The top staff is in treble clef, and the bottom staff is in bass clef. Measure 12 is in 2/4 time, measure 13 in 4/4, and measure 14 in 3/4. Dynamics include *mp*, *mf*, *f*, *mp*, *mf*, and *pp*. Performance markings include <n.h.>, accents, and articulation marks. A circled '2' is above the first measure, and circled numbers 1, 2, 3, 4, 6 are above the final measure. A circled '3' is above the first measure of the 14-measure system.

15

Musical score for measures 15-17. The top staff is in treble clef, and the bottom staff is in bass clef. Measure 15 is in 3/4 time, measure 16 in 2/4, and measure 17 in 3/4. Dynamics include *mp*, *mp*, *mf*, and *p*. Performance markings include accents and articulation marks. A circled '3' is above the first measure, and a circled '3' is above the final measure.

18

Musical score for measures 18-19. The top staff is in treble clef, and the bottom staff is in bass clef. Measure 18 is in 2/4 time, and measure 19 is in 2/4. Dynamics include *mf*, *p*, *mp*, and *pp*. Performance markings include a box labeled '4' containing 'granulação da percussão' and a circled '4' above the final measure. Time intervals of approximately 5'' and 3'' are marked above the staves.

20

Musical score for measures 20-22. The top staff is in treble clef, and the bottom staff is in bass clef. Measure 20 is in 2/4 time, measure 21 in 3/4, and measure 22 in 3/4. Dynamics include *f*, *mp*, and *f*. Performance markings include <n.h.>, accents, and articulation marks. A circled '5' is above the final measure, and a box labeled '5' containing 'sample2' is above the final measure. Circled numbers 1, 2, 3, 4, 5 are above the first measure. A circled '2' is above the final measure. Time intervals of <12> and <8> are marked above the staves.

