
A sonificação e suas práticas artísticas: incursões na art-science, na música, na arte sonora e na data art.

Augusto Piccinini

1. Introdução

O termo sonificação é sugestivo, quase autoexplicativo: trata-se de atribuir sons a – ou representar sonoramente – fenômenos que não são essencialmente sonoros, ou então fenômenos que são sonoros, mas encontram-se fora da nossa faixa de audibilidade em termos de frequência, entre 20Hz e 20.000Hz. A variação na cotação do dólar, a velocidade de rotação de uma estrela a milhares de anos-luz, a posição geográfica dos ônibus do transporte público de uma cidade, ou a sequência de aminoácidos em uma proteína, são alguns exemplos de fenômenos “sonificáveis”; a rigor, qualquer fenômeno quantificável pode ser sonificado. Na prática, a sonificação consiste no mapeamento de dados coletados destes fenômenos em sons; ou, no caso excepcional de um tipo de sonificação chamado audificação, consiste em reproduzir uma sequência de dados como se fossem uma onda sonora, acelerando ou desacelerando a velocidade de leitura para se adequar à nossa faixa de audibilidade.

Enquanto campo de pesquisa, a sonificação é relativamente jovem. Suas origens remontam ao início dos anos 1990, quando começou a se formar em torno do ICAD (*International Conference on Auditory Displays*), conferência organizada por pesquisadores interessados nos usos do som na pesquisa científica e no *design* de interfaces computacionais. Paralelamente ao seu desenvolvimento acadêmico,

práticas artísticas também começaram a utilizar os procedimentos da sonificação de maneira mais insistente – embora alguns exemplos anteriores a esta época também pudessem ser considerados, com alguma liberdade de interpretação, sonificações.

Um dos motivos para que o campo da sonificação ganhasse corpo nesta década foi o desenvolvimento e barateamento das tecnologias digitais desde os anos 1980. As possibilidades de *sampleamento* e *quantização* de dados das tecnologias digitais, bem como a crescente capacidade de processamento e memória dos computadores, permitiu a transição de um ambiente de produção sonora baseado em equipamentos analógicos para um ambiente digital, formado por *DAWs* (*digital audio workstations*), *VSTs* (instrumentos e sintetizadores virtuais) e linguagens de programação (*Csound*, *Max*, *Pure Data*, *Supercollider*, etc) – estes muitas vezes usados simultaneamente em um mesmo computador. Esta simultaneidade, é claro, depende da velocidade e eficiência da comunicação entre os diversos *softwares*, não através de cabos elétricos, mas através do fluxo de dados digitais internos e externos ao computador – por exemplo, os protocolos *MIDI* e *OSC*. A generalidade das representações digitais permite que um fluxo de dados gerado por um determinado *software*, digamos, uma sequência *MIDI*, possa ser mapeado a algum parâmetro de outro *software*, digamos, às notas de um sintetizador virtual. Este é, precisamente, o procedimento da sonificação, baseado na flexibilidade de mapeamento e na facilidade com que se traduzem dados digitais.

Partindo desta breve introdução ao tema, busco neste artigo estabelecer algumas bases para a pesquisa da sonificação no âmbito artístico. Isso implica, primeiro, em tentar entender de que maneira a sonificação é pensada e definida nas artes e como ela se relaciona com a sonificação no âmbito da pesquisa científica; segundo, em identificar alguns campos artísticos em que a sonificação se insere e, com isso, analisar as questões levantadas pela sonificação em cada um destes

campos. Os campos que serão analisados serão os da *art-science*, da música, da arte sonora, e da *data art*, e para cada um deles oferecerei exemplos de obras de sonificação.

2. Definição de sonificação

Qualquer tentativa de acompanhar a sonificação em sua totalidade vai necessariamente esbarrar em dois universos distintos, um da pesquisa científica, e outro da prática artística; dois universos que frequentemente se remetem um ao outro, mas que possuem seus próprios interesses e dinâmicas internas. Durante minha pesquisa, realizei um levantamento exaustivo de textos acadêmicos e científicos e de obras artísticas de sonificação. Analisando e comparando estes dois tipos de produção, nota-se que existe um descompasso entre eles, a começar pelas próprias definições de sonificação oferecidas por cada um.

No âmbito acadêmico, a necessidade de legitimar o campo da sonificação levou pesquisadores a elaborarem definições bem estritas e alinhadas com seus interesses específicos. De maneira geral, podemos resumir os interesses científicos em duas frentes: uma voltada para os usos do som na pesquisa científica, apostando nas supostas vantagens que a audição humana teria sobre a visão no monitoramento e análise de certos tipos de dados científicos; outra voltada para o desenvolvimento de interfaces computacionais, geralmente criando feedback sonoro para as atividades de usuários nas interfaces, para aplicativos de acessibilidade voltado a pessoas com deficiência visual, ou para atividades de equipamentos utilizados em situações em que o usuário tem a sua visão comprometida com outra tarefa (como equipamentos usados em cabines de avião, mesas de cirurgia, etc). Esses interesses estão contemplados nas definições de pesquisadores da

sonificação, especialmente aqueles envolvidos com o ICAD. Se tomarmos como exemplo a definição clássica de Gregory Kramer:

Sonificação é definida como o *uso de áudio, excetuando sons da fala, para transmitir informação*. Mais especificamente, *sonificação é a transformação de relações de dados em relações perceptíveis de um sinal acústico com o propósito de facilitar a comunicação ou a interpretação* (KRAMER et al, 1997, p.3, tradução nossa)¹.

ou a definição de Thomas Hermann, uma década mais tarde:

Uma técnica que utilize dados como entrada [input], e gere sinais sonoros [...] pode ser chamada de sonificação se, e somente se: (C1) O som refletir propriedades ou relações objetivas dos dados de entrada; (C2) A transformação for sistemática. Isto significa que há uma definição precisa sobre como os dados (e interações opcionais) causam mudanças no som; (C3) A sonificação for reproduzível: com os mesmos dados e interações idênticas (ou *triggers*), o som resultante deve ser estruturalmente idêntico; (C4) O sistema puder ser intencionalmente usado para diferentes dados, e também ser usado em repetição com os mesmos dados (HERMANN, 2008, p.2, tradução nossa)².

veremos que os elementos determinantes de uma sonificação para estes pesquisadores são a sua funcionalidade – ou seja, elas possuem uma utilidade prática na comunicação de informações – e a sua adequação aos critérios da pesquisa científica: objetividade, sistematicidade e reprodutibilidade.

Quando passamos para o âmbito artístico, estas definições perdem força pois não dão conta nem dos interesses artísticos por trás do uso da sonificação, e nem

1 “Sonification is defined as *the use of nonspeech audio to convey information*. More specifically, *sonification is the transformation of data relations into perceived relations in an acoustic signal for the purposes of facilitating communication or interpretation*” ((KRAMER et al, 1997, p.3).

2 “A technique that uses data as input, and generates sound signals [...] may be called sonification, if and only if (C1) The sound reflects *objective* properties or relations in the input data. (C2) The transformation is *systematic*. This means that there is a precise definition provided of how the data (and optional interactions) cause the sound to change. (C3) The sonification is *reproducible*: given the same data and identical interactions (or *triggers*) the resulting sound has to be structurally identical. (C4) The system can intentionally be used with *different data*, and also be used in repetition with the same data” (HERMANN, 2008, p.2).

da diversidade estética das obras. Alguns pesquisadores tentaram sistematizar uma teoria da sonificação que incluísse também suas práticas artísticas, mas acabaram incorrendo apenas em uma teoria sobre como considerações estéticas oriundas da música podem tornar uma sonificação mais comunicável ou agradável de ser ouvida (VICKERS; HOGG, 2006). O fato é que obras artísticas não necessariamente utilizam a sonificação com o objetivo de transmitir informações de maneira objetiva e sistemática. O *design* sonoro dessas obras também não é feito a partir de considerações sobre a funcionalidade do som ou sobre o conforto do ouvinte, mas sim a partir da proposta estética do artista. É claro que, em alguns casos, esta distinção não é tão clara. Alexandra Supper (2014), por exemplo, observa como alguns artistas, em sua prática de sonificação, tendem a ser tão sistemáticos e objetivos quanto os cientistas, entendendo que manipulações nos dados ou nos sons para fazê-los “soar melhor” iriam contra a própria ideia da sonificação de externalizar e automatizar parte do processo criativo.

As definições científicas da sonificação também falham em abarcar a variedade estética das obras artísticas deste tipo. Levantando e analisando mais de uma centena de obras de sonificação, encontrei peças de música eletroacústica, peças de música instrumental, música mista, música popular, instalação sonora, performance, audiovisual, radio art, web art, soundwalks, entre outros. Encontrei também obras lidando com uma infinidade de tipos diferentes de dados: fenômenos cosmológicos, naturais, climáticos, sísmicos, biológicos, moleculares; fenômenos econômicos e sociais; feedback espacial (obras que sonificam as atividades humanas dentro de um determinado espaço); e sonificação de imagens. O que une toda esta variedade é apenas a sonificação enquanto procedimento, de forma que a única definição adequada para nossa investigação artística é aquela que reduz esta prática a seus preceitos técnicos. Assim, optamos por uma definição do termo

simplificada e que reduza a sonificação aos seus aspectos mais simples, descolados de considerações sobre funcionalidade. A sonificação é uma técnica que consiste na transdução de dados em eventos sonoros, e depende apenas de três pontos: (1) dos dados que serão sonificados; (2) do algoritmo que executa o mapeamento ou a transposição (no caso da audificação) dos dados, em tempo real ou não; (3) e da renderização/realização sonora, que pode ocorrer automaticamente em sistemas computacionais, ou pode ocorrer manualmente, como ocorre em peças instrumentais em que o resultado do mapeamento é primeiro plotado em uma partitura.

Além desta nossa definição genérica, a heterogeneidade estética encontrada nas obras de sonificação nos leva ainda à outra formulação: a sonificação não existe enquanto um campo artístico por si só, mas atravessa outros campos artísticos. A razão disso está em sua própria natureza interdisciplinar, pois lida com questões intrínsecas das artes, das ciências, e da tecnologia. Bastaria olharmos para a formação dos artistas que lançam mão desta técnica em suas obras para perceber a diversidade no meio: músicos, programadores, artistas visuais, artistas sonoros, *designers*, artistas de *new media art*, etc. Se a sonificação é então um campo múltiplo, devemos tratá-la em sua multiplicidade. Nesta segunda parte do artigo aponto alguns campos artísticos onde a sonificação frequentemente se insere, e apresento as questões específicas que cada um destes campos revela sobre ela. São eles a *art-science*, a música, a arte sonora, e a *data art*. Justificando a escolha destes campos: eles me apareceram quase que naturalmente durante o processo de análise das produções artísticas, não por uma filiação claramente anunciada pelos artistas a estes campos – embora muitos deles se anunciem de fato como músicos ou artistas sonoros –, mas sim pelos próprios elementos que são colocados em jogo em suas obras. Se uma grande parte das obras de sonificação lida diretamente com

problemáticas científicas e tecnológicas, talvez a *art-science* tenha algo a nos dizer. Se o som é um elemento central nas obras de sonificação, talvez a música tenha algo a nos dizer; e, quando a música falha em lidar com a sonificação, talvez a arte sonora tenha algo a nos dizer. E se a totalidade das obras de sonificação lida com dados, assumindo-os como o centro do discurso artístico, talvez a *data art* tenha algo a nos dizer. Como demonstrarei, cada um desses campos ilumina aspectos específicos da sonificação, desde suas implicações técnicas e estéticas, até suas dimensões políticas.

3. Sonificação e art-science

O motivo para ser a *art-science* o primeiro campo a ser investigado, ao invés da música, que pareceria ser a escolha mais óbvia, é a sua abrangência, pois consegue abarcar todos os campos que discutiremos adiante.

Já sugeri que a sonificação é uma prática essencialmente interdisciplinar, marcada pela aproximação entre arte, ciências e tecnologia. Este é o principal ponto de contato com a *art-science*, campo que envolve as mesmas áreas do conhecimento. O aspecto interdisciplinar acaba tornando este campo amorfo e seus limites pouco claros, resistindo a definições muito categóricas. Mas, se quisermos nos arriscar a produzir uma definição, podemos dizer que a *art-science* é um tipo de prática artística em que problemáticas científicas são incorporadas como o tema e a razão de ser das obras, de forma que o entendimento da obra depende diretamente do entendimento das problemáticas científicas que ela articula. Na prática, quase sempre produz obras que se valem fortemente de recursos tecnológicos na sua execução.

Born e Barry (2011), em seu artigo sobre o tema, buscaram entender sob quais pretextos ocorre esta aproximação entre práticas artísticas e preocupações

científicas. Primeiro, analisaram esta aproximação historicamente encontrando sua origem nas iniciativas governamentais e educacionais que resultaram dos embates suscitados pela palestra de C.P. Snow, *The Two Cultures*, em 1958. Snow, no contexto britânico do pós-guerra, enxergava um enorme abismo entre duas 'culturas', a dos cientistas acadêmicos e a dos intelectuais da literatura; um abismo contraproducente do ponto de vista acadêmico e, em última análise, do ponto de vista do desenvolvimento econômico nacional, e que por isso deveria ser superado.

Em meio a esta perspectiva histórica da *art-science*, Barry e Born oferecem suas três lógicas de interdisciplinaridade, ou seja, três lógicas que movem as aproximações entre ciências e humanidades ou artes: a lógica de prestação de contas, a lógica de inovação, e a lógica ontológica. Estas três lógicas explicadas a seguir serviram como uma luva à minha investigação, pois todas elas operam, à sua maneira, dentro da sonificação. A partir delas, é possível delinear diferentes contextos em que ela ocorre: o educacional, o científico, e o artístico. Traçarei a seguir um paralelo entre estas três lógicas de interdisciplinaridade e nossas três lógicas de sonificação.

3.1 Lógica de prestação de contas, sonificação educacional

A lógica de prestação de contas [accountability] é aquela que promove a interdisciplinaridade com o intuito de contextualizar e conectar o conhecimento científico com outras formas de conhecimento, tornando-o assim o mais acessível, compreensível e justificável para o público (BORN;BARRY, 2011, p.104). Esta lógica de interdisciplinaridade, portanto, “[...] ajuda a nutrir uma cultura de prestação de contas, rompendo com as barreiras entre ciência e sociedade, levando à maior interação entre cientistas e os vários públicos e partes interessadas [stakeholders]”

(BARRY;BORN;WESZKALNYS, 2010, p.31, tradução nossa)³. Por vezes, lida com projetos de pesquisa científica de alto custo, alguns de financiamento público, de difícil entendimento ou aplicabilidade imediata, e que por esses motivos precisam se autopromover frente ao público para justificar sua própria existência.

Alguns projetos de sonificação de dados científicos podem ser facilmente inseridos neste processo de busca pelo engajamento público. São projetos que, apesar de possuírem alguma intenção artística, têm como principal característica uma certa função pedagógica, com o propósito de educar e apresentar ao público, de maneira leve e estetizada, diversos conceitos e fenômenos das ciências naturais. Além disso, o espaço de apresentação destes projetos é geralmente diferente dos espaços artísticos tradicionais, consistindo basicamente em museus científicos, conferências, feiras científicas e palestras de ciência popular, ou seja, ambientes de não-especialistas e voltados ao público leigo (SUPPER, 2014).

Estes aspectos da sonificação que chamamos “educacionais” certamente implicam algumas características estéticas recorrentes deste tipo de proposta. Na busca pelo engajamento público, cientistas geralmente acabam lançando mão de sonoridades musicais tradicionais, baseadas em notas de altura definida, melodias simples, sequências harmônicas familiares, ritmos regulares, e sínteses sonoras simulando instrumentos musicais tradicionais. A escolha por este tipo de sonoridade é estratégica: são essas as sonificações que mais soam como música no sentido corrente do termo⁴ e, soando como música, são mais eficientes em cativar um

3 “[...] it helps to foster a culture of accountability, breaking down the barriers between science and society, leading to greater interaction, for instance, between scientists and various publics and stakeholders” (BARRY;BORN;WESZKALNYS, 2010, p.31).

4 Tratar de música nestes termos é extremamente escorregadio e possivelmente redutor, especialmente quando queremos nos referir a um tipo de sonoridade musical que reconhecemos apenas tacitamente. Baseio-me em uma percepção pessoal de que, fora dos círculos acadêmicos e musicais, os critérios para definir o que é ou não música são muito mais rígidos e estreitos entre o público em geral. Escrevo, aqui, com a esperança de que o leitor partilhe desta percepção, e onde isso falhar, ofereço o exemplo seguinte da obra *Walk on the Sun* para ilustrar o que me refiro por “música no sentido corrente do termo”.

público de leigos, jovens estudantes e, possivelmente, investidores para determinados campos de pesquisa científica. Espera-se com isso produzir um efeito de maravilhamento, estupefação ou encantamento nos ouvintes, atiçando sua curiosidade para a natureza dos dados subjacentes à sonificação.

Um exemplo contundente deste tipo de sonificação educacional é o projeto *LHCSound - the sound of science*. Trata-se de um projeto colaborativo entre a física Lily Asquith e outros cinco colegas – quatro músicos e uma ilustradora – voltado à sonificação de dados coletados durante experimentos no colisor de partículas LHC (*Large Hadron Collider*). O LHC é o maior colisor de partículas do mundo, instalado sob a fronteira da França com a Suíça, próximo a Genebra. Foi construído entre 1998 e 2008 pela Organização Europeia de Pesquisa Nuclear (CERN), instituição cujo financiamento provém majoritariamente de dinheiro público de países das Nações Unidas. O projeto de Asquith teve início em janeiro de 2010 com o financiamento do Science & Technology Facilities Council, agência governamental britânica de pesquisa em ciência e engenharia. Este financiamento se deu na forma de um prêmio por *public outreach*, ou seja, por uma iniciativa em promover o conhecimento científico e criar engajamento público. Já temos aqui um primeiro sinal de um projeto de sonificação educacional que busca aproximar o público leigo de um campocientífico extremamente complexo e distante da vida cotidiana e que, apesar disso, é extremamente custoso e financiado, em grande parte, com dinheiro estatal:

Acima de tudo, nós queremos que todos possam partilhar das maravilhas e do entusiasmo do maior experimento já construído. Nós acreditamos apaixonadamente que todos são capazes de apreciar o que está acontecendo no CERN e que aqueles entre nós que já entendem do assunto possuem a responsabilidade de encontrar novas e melhores formas de compartilhar a inspiradora magnificência disto tudo. O LHC pertence a todos nós; você pagou para ele ser construído e você vai

apreciar os avanços tecnológicos que ele traz (LHC SOUND, [2010?], tradução nossa)⁵.

A maior parte das informações sobre este projeto pode ser encontrada no website oficial do *LHCsound*⁶, com exemplos de sonificações de colisão de prótons, de medições envolvendo o bóson de Higgs – popularmente conhecido como partícula de deus – e de outros tipos de medição. Apesar de utilizarem, basicamente, sons de sintetizadores tradicionais (formas de ondas simples e modulações de amplitude e frequência), não são sonificações que soam musicais no sentido corrente do termo, ou seja, não soam como música popular. Nesse sentido, estão mais próximas das sonificações realizadas por pesquisadores da sonificação como os do círculo do ICAD que buscam transmitir informações objetivas através do som.

Outro exemplo de sonificação educacional, mas que desta vez recorre a sonoridades “musicais”, é a obra *Walk on the Sun*⁷ (2009), do compositor e pesquisador de sonificação Marty Quinn. O projeto recebeu financiamento da NASA (National Aeronautics and Space Administration) através de um programa de extensão chamado IDEAS (The Initiative to Develop Education through Astronomy and Space Science). Mais uma vez, a intenção pedagógica deste tipo de financiamento nos aproxima da noção de sonificação educacional. Como consta no *website* oficial do programa, o objetivo do IDEAS é o de:

5 “Above all, we want everyone to be able to share in the wonder and excitement of the greatest experiment ever built. We feel passionately that everyone is capable of appreciating what is happening at CERN and that it is the responsibility of those of us already ‘in the know’ to find new and better ways of sharing the awe-inspiring magnificence of it all. The LHC belongs to us all; you paid for it to be built and you will enjoy the technological advances it brings” (LHC SOUND, [2010?]).

6 *LHCsound* disponível em: <<http://lhcsound.hep.ucl.ac.uk/index.html>>. Acesso em: 06/06/2019.

7 *Walk on the Sun* disponível em: <<http://designrhythmics.com/exhibits/>>. Acesso em: 06/06/2019.

Vídeos da interação de visitantes com a obra disponíveis no canal oficial do compositor Marty Quinn no Youtube: <<https://www.youtube.com/user/martyquinn/featured>>. Acesso em: 06/06/2019.

[...] prover financiamento inicial para a explorar formas criativas e inovadoras de integrar astronomia e ciência espacial à educação dos Estados Unidos e a locais de alcance público [public outreach] através de parcerias entre astrônomos/cientistas espaciais e profissionais da educação (IDEAS, 2004, tradução nossa)."⁸

Walk on the Sun é uma instalação interativa baseada na sonificação em tempo real de imagens do sol cedidas pela NASA. Na instalação, o visitante caminha sobre uma área de piso branco sobre a qual são projetadas as imagens. Na medida em que ele caminha, um detector de movimento o acompanha, identificando sua posição e sonificando a área de pixels sobre a qual ele se encontra. A sonificação mapeia, via MIDI, parâmetros de cor, brilho e localização a timbres instrumentais, notas musicais e posição no panorama estereofônico respectivamente. O resultado sonoro é bastante controlado para soar como música popular, criando melodias e harmonias coerentes baseadas em escalas ou modos tradicionais, estruturas rítmicas de métrica regular e timbres sintetizados de instrumentos comuns, como piano, violão, vibrafone, etc.

3.2 Lógica de inovação, sonificação científica

A lógica da inovação, assim como a de prestação de contas, também faz um uso pragmático das práticas interdisciplinares, utilizando os recursos e conhecimentos de um determinado campo para abastecer e promover avanços no outro. Como o próprio nome sugere, esta lógica se volta para a inovação tecnológica e para o crescimento econômico a partir da interdisciplinaridade entre as ciências exatas e outras áreas do conhecimento (BORN;BARRY, 2010). Apesar de ser uma lógica fortemente voltada às demandas do mercado pela criação de novos produtos,

8 “[...] provide start-up funding to explore innovative, creative ways to integrate astronomy and space science into United States education and public outreach venues through partnerships between the astronomers/space scientists and education professionals” (IDEAS, 2004, tradução nossa).

ela também pode ser posta em prática para solucionar ou atender demandas de outras áreas, como, por exemplo, as ciências. Existe uma constante demanda da pesquisa científica por novas ferramentas de pesquisa e análise, recursos de acessibilidade ou simplesmente novas perspectivas sobre determinado assunto. Nesse sentido, consumidor, usuário e pesquisador são figuras centrais a esta lógica.

A *art-science* pode também nascer a partir desta lógica de inovação, como ocorre, por exemplo, nos *studio-labs*, ambientes híbridos de experimentação em que novas mídias e tecnologias são desenvolvidas juntamente com suas aplicações criativas (BARRY;BORN;WESZKALNYS, 2001). Alguns exemplos deste modelo institucional são apontados por Born e Barry (2011), como a Bell Labs, o MIT Media Lab, Xerox PARC, IRCAM e ZKM. A presença de artistas nestes ambientes científicos estimularia a inovação, atuando como os primeiros usuários criativos de uma determinada ferramenta.

A expressão da sonificação que melhor corresponde às características da lógica da inovação é a sonificação científica. Este tipo de sonificação é aquela tratada pela literatura acadêmica que citamos anteriormente, de onde nascem as definições e categorizações voltadas para a funcionalidade e aplicabilidade da sonificação em contextos científicos. E é justamente esta preocupação com a aplicação que a aproxima da lógica de inovação. De maneira geral, existe em torno da sonificação científica um discurso de inovação que propõe uma nova abordagem na investigação científica ou, ao menos, uma potencialização de abordagens passadas. Para o primeiro caso, imagina-se que, através do som, alguns tipos de informações poderiam ser melhor transmitidos objetivamente, utilizando as vantagens que o aparelho auditivo possui sobre a visão, como a omnidirecionalidade e a constância da audição (SINCLAIR, 2011), a capacidade de detectar e memorizar padrões e a capacidade de acompanhar múltiplas fontes sonoras (BALLORA, 2014)

e a localização de objetos fora do campo de visão (BARRASS;KRAMER, 1999). Para o segundo, a sonificação teria a capacidade de potencializar formas de representação visual, como a visualização⁹, quando utilizadas conjuntamente. Como observa Supper (2012), este é um ponto sensível aos pesquisadores da sonificação que ainda não encontraram seu “killer-app”, ou seja, uma aplicação capaz de tornar a sonificação amplamente aceita – ou ao menos convincente – enquanto método de pesquisa nas ciências. Um grande esforço é feito pelos pesquisadores do campo para justificar e apresentar aplicações concretas da sonificação fora da lógica de prestação de contas e dentro da lógica de inovação. Sob um ponto de vista mais pragmático, no entanto, a sonificação encontrou seus próprios caminhos dentro da disciplina de *design* de interfaces, geralmente criando feedbacks sonoros para a atividade de usuários em interfaces computacionais, para aplicativos de acessibilidade voltado a pessoas com deficiência visual, ou para atividades de equipamentos utilizados em situações em que o usuário tem a sua visão comprometida com outra tarefa.

Um primeiro projeto de sonificação que podemos destacar dentro da lógica de inovação é o *SonicFinder*¹⁰, interface visual e sonora desenvolvida na Apple Computer que une ícones sonoros [auditory icons] a ícones gráficos tradicionais. Este projeto foi iniciado em 1986 por William Gaver – na época trabalhando como estagiário na Apple – e foi desenvolvido por cerca de um ano e meio. Apesar da curta duração e da informalidade do projeto – que nunca foi de fato implementado e comercializado – *SonicFinder* segue sendo citado tanto em artigos sobre sonificação quanto em livros sobre *design* de interfaces (MOGGRIDGE, 2007) por sua

9 Visualização é o correlato visual da sonificação, obedecendo aos mesmos procedimentos de mapeamentos de dados; mas, ao invés de se mapearem dados a sons, mapeia-se a cores, formas geométricas e disposições espaciais, gerando assim representações visuais dos dados em gráficos, fluxogramas, etc.

10 Vídeo demonstrativo do *SonicFinder* disponível em: <<https://vimeo.com/channels/billgaver/158610127>>. Acesso em: 06/06/2019.

abordagem pioneira no uso do som em interfaces computacionais. Devemos lembrar que na década de 1980 os computadores pessoais começaram a se tornar acessíveis e havia um grande interesse por parte de empresas do ramo em desenvolver interfaces mais amigáveis e intuitivas aos usuários. Naturalmente, a preocupação com a interação entre estímulos sonoros e visuais nestas interfaces surgiu a partir destes interesses. Além disso, os recentes avanços tecnológicos na computação, como o aumento na velocidade de processamento e de memória dos computadores e o surgimento do protocolo MIDI, permitiram que o som pudesse ser utilizado de maneira mais eficiente no domínio digital.

SonicFinder não foi o primeiro projeto a usar sons para criar feedback de atividades em computadores, mas foi provavelmente o primeiro levar em conta aspectos funcionais do *design* para realizar tal tarefa – algo que certamente se deve às pesquisas passadas de Gaver em psicologia e percepção sonora (MOGGRIDGE, 2007). Em *SonicFinder*, Gaver colocou em prática suas ideias sobre ícones sonoros, “sons cotidianos usados para transmitir informações sobre eventos computacionais por uma analogia com eventos cotidianos” (GAVER, 1989, p.1, tradução nossa)¹¹. Assim, por exemplo, o usuário ouviria o som de uma folha de papel sendo amassada ao arrastar um arquivo qualquer para a lixeira na área de trabalho. Desta forma, o uso de ícones sonoros em interfaces computacionais poderia tornar a navegação mais intuitiva e flexível a criar um feedback sonoro de fácil assimilação e entendimento.

Para além deste tipo de projeto em interfaces computacionais, outros pesquisadores se empenharam em desenvolver ferramentas de sonificação no formato de *software* para usos mais genéricos. Estas ferramentas, ao contrário do *SonicFinder* – que existe dentro de uma lógica de mercado e desenvolvimento de

¹¹ “[...] everyday sounds meant to convey information about computer events by analogy with everyday events” (GAVER, 1989, p.1).

produtos –, foram elaboradas para facilitar a criação de sonificações, tanto para objetivos específicos, como para sonificar dados quaisquer. Algumas ferramentas voltam-se especificamente para a acessibilidade, como por exemplo a *xSonify*¹², desenvolvido na NASA por Candey, Schertenleib e Merced (2006) para auxiliar cientistas e pesquisadores com deficiência visual na análise de dados astrofísicos. Outras ferramentas se voltam para a pesquisa científica, mais flexíveis e capazes de sonificar qualquer tipo de dado. Exemplos desse tipos são mais numerosos, mas podemos citar como exemplo o *Sonifyer*¹³, desenvolvido por Dombois et al (2008). Este *software* foi criado especialmente para lidar com dados sísmicos e de eletroencefalogramas, mas também aceita qualquer tipo de dado, executando tanto audificações quanto sonificações por mapeamento.

3.3 Lógica ontológica, sonificação artística

Em contraste com as lógicas de prestação de contas e de inovação, em que existe uma certa relação de subserviência de um campo a outro (tipicamente das artes às ciências naturais), a lógica ontológica lida com propostas interdisciplinares que promovem, de alguma maneira, mudanças ou reflexões ontológicas em ambas disciplinas envolvidas. A ontologia, neste contexto, refere-se à série de propriedades e relações que definem, na essência, determinado campo ou prática. Portanto, a lógica ontológica seria aquela em que a interdisciplinaridade funcionaria como um motor para questionar – e talvez modificar – a própria definição dos campos envolvidos, ou seja, a essência das suas práticas. Na visão de Barry e Born (2011),

12 Em uma palestra para o canal TED no Youtube, a pesquisadora cega Wanda Diaz Merced explica como ela utiliza o software *xSonify* e apresenta alguns exemplos de sonificação de dados astronômicos que a auxiliaram em sua pesquisa. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=hY9QSdaReY>>. Acesso em: 06/06/2019.

13 *Sonifyer* disponível em: <<http://www.sonifyer.org/softhardware/>>/ Acesso em: 06/06/2019.

a lógica ontológica é um domínio privilegiado da *art-science* justamente por afastar-se da lógica de prestação de contas – geralmente vista como decorativa ou superficial – e instigar a criação de uma nova prática que questiona e transcende ambas disciplinas envolvidas. Neste caso, teríamos uma prática artística capaz de questionar, ao mesmo tempo, tanto a essência da arte quanto das ciências e da tecnologia a partir de uma sinergia entre estes três campos.

O tipo de sonificação que melhor se aproxima da lógica ontológica é a que denomino sonificação artística. Como o nome sugere, este tipo compreende uma prática de sonificação que se insere em contextos tipicamente artísticos (museus, galerias, salas de concerto, etc) e que possui um discurso predominantemente artístico, afastando-se assim dos âmbitos educacionais e científicos. Isso não significa, porém, que tal tipo de sonificação não possa conter elementos educacionais ou preocupações científicas – pelo contrário, elas quase sempre os têm. Por vezes, uma sonificação artística busca chamar a atenção do público e conscientizá-lo para a natureza dos dados sendo sonificados, algo que pode ser visto como educativo, mas que não recai sobre a lógica de prestação de contas e de engajamento público. Da mesma forma, diversas obras artísticas clamam para si uma forte cientificidade, incorporando problemáticas científicas e preocupações com objetividade, sistematicidade e reprodutibilidade com o mesmo rigor das sonificações que chamamos científicas. Como observa Supper (2014), esta é uma tendência natural se pensarmos que, para os artistas, uma abordagem pouco rigorosa dos dados iria contra a própria ideia de se usar o recurso da sonificação.

Delimitar um tipo de sonificação como estritamente artística poderia soar como uma contradição com a própria lógica da ontologia descrita acima, que por si só já pressupõe uma forte presença científica nas obras. De fato, dentre os três contextos de sonificação, o artístico talvez possua a relação mais frágil com sua

respectiva lógica de interdisciplinaridade. Se nos outros dois tipos a aproximação entre as lógicas de prestação de contas e inovação e as sonificações educacionais e científicas se deram de maneira muito clara, no caso artístico a lógica ontológica opera de maneira mais modesta, tendo em vista a aparente superficialidade ou ingenuidade de uma enorme quantidade de trabalhos deste tipo. Contudo, mesmo que a lógica ontológica não apareça explícita em obras de sonificação ou nos discursos dos artistas, ela está inevitavelmente implícita na medida em que tais obras propõem uma nova forma de lidar com dados científicos e de incorporar problemáticas científicas à prática artística, refletindo assim, de maneira mais ou menos contundente, sobre a ontologia das artes e das ciências, mesmo que involuntariamente.

Um exemplo de sonificação que opera dentro desta lógica ontológica é *Oxygen Flute*¹⁴, parceria entre o artista visual Greg Niemeyer e o compositor Chris Chafe. Esta obra foi apresentada em duas versões, uma primeira em 2001, comissionada pelo San Jose Museum of Art (SJMA) na Califórnia, e uma segunda (*Oxygen Flute 2.0*) em 2002, apresentada na UC Berkeley.

Oxygen Flute foi uma instalação baseada na sonificação de dados sobre a qualidade do ar; mais especificamente, da concentração de CO₂ no ambiente da instalação. A obra consistia em uma pequena câmara em formato de cápsula com paredes de silicone, funcionando como uma espécie de estufa, dentro da qual foram plantados alguns pés de bambu e de tomate em um solo artificial. No centro da câmara foi instalada uma pequena plataforma, permitindo que um ou dois visitantes permanecessem dentro da obra. Também foi instalado um sensor de concentração de CO₂ responsável pela coleta de dados e quatro alto-falantes que devolviam o resultado da sonificação em tempo real para os visitantes. A sonificação era

14 *Oxygen Flute* disponível em: <<http://chrischafe.net/oxygen-flute/>>. Acesso em: 06/06/2019.

realizada a partir dos dados coletados pelo sensor, que variavam de acordo com a entrada e saída dos visitantes na instalação: quando os visitantes estavam dentro e respirando, a concentração de CO₂ do ambiente aumentava, provocando mudanças diretas e em tempo real no material musical da sonificação.

Inspirados pela publicação de artigos e gravações sonoras de algumas flautas de osso descobertas em escavações arqueológicas na região central da China (algumas delas com cerca de nove mil anos de idade), Niemeyer e Chafe optaram por utilizar um modelo de síntese computacional destas mesmas flautas para gerar o material sonoro da obra. Os dados de concentração de gás carbônico coletados na instalação, em tempo real ou não, foram então utilizados para controlar parâmetros deste modelo de síntese, como quantidade de ruído de sopro, embocadura, nota, portamento e abafamento.

Observando estes aspectos de *Oxygen Flute*, não temos nenhuma dificuldade em entendê-la como um projeto de *art-science*: a obra incorpora a problemática científica – e também social – da qualidade do ar, lançando mão de recursos tecnológicos para sua realização. Ao mesmo tempo, percebemos claramente um forte componente político e ecológico, algo comum em sonificações que lidam com dados de fenômenos naturais. Na nota de programa para a segunda versão da obra, Niemeyer e Chafe descrevem seu projeto como uma mistura de “[...] elementos da arquitetura, música e computadores para fazer declarações sobre o meio ambiente, a interdependência dos seres vivos, a economia global, imigração, agricultura moderna e a convergência do natural com o sintético” (MACLAY, [2002?], tradução nossa)¹⁵. A obra materializa estas preocupações na medida em que estabelece uma analogia entre o sistema criado para a instalação – em que o visitante consegue

15 [...]“elements of architecture, music and computers to make statements about the environment, the interdependence between living things, the global economy, immigration, modern agriculture and the convergence of the natural with the synthetic” (MACLAY, [2002?]).

perceber auditivamente sua interferência no ambiente pelo simples ato da respiração – e a atmosfera do planeta de maneira geral, buscando assim provocar nos visitantes uma conscientização para os problemas da poluição por excesso de emissão de gás carbônico e o conseqüente efeito estufa. Sob uma perspectiva social, mas igualmente abarcada pela temática da “respiração”, a obra também faz referência ao acidente ocorrido em 2001 em que 58 imigrantes chineses morreram sufocados dentro de um contêiner sem ventilação que estava sendo transportado em um navio cargueiro para a Inglaterra. Neste contexto, o uso das flautas chinesas para modelar os sons ganha um peso político.

4. Sonificação e música

Ao tratar da sonificação sob a perspectiva da *art-science*, já começamos a perceber como os contextos em que ela ocorre são múltiplos. Um outro possível contexto a ser tratado é o da música; algo inevitável, se relembrarmos como o som, um dos elementos centrais da sonificação, sempre teve sua dimensão artística fortemente associada à música, pelo menos até o surgimento da arte sonora. De fato, muitos artistas que trabalham com sonificação possuem uma formação predominantemente musical, especialmente dentro da disciplina de composição musical que tem se tornado cada vez mais integrada com tecnologias digitais. Esse processo se dá tanto na área da *computer music*, que já nasceu integrada a tais tecnologias, quanto nas formas mais tradicionais de composição, que agora são auxiliadas por computadores. Prova disso é a coexistência de obras de sonificação realizadas inteiramente no domínio digital, como peças de *computer music*, e obras realizadas de maneira mista com o resultado final notado em partituras tradicionais para serem tocadas por instrumentistas.

Ambos os tipos de obras se inserem numa longa trajetória musical, dialogando com a tradição da música de concerto, da música eletroacústica, e das intersecções entre as duas. Poderíamos imaginar, neste sentido, que a sonificação apenas dá sequência ou retoma – sob uma outra perspectiva, obviamente – um certo tipo de pensamento composicional que sempre esteve presente na música, mesmo antes do advento de tecnologias digitais. Alguns pesquisadores se esforçaram para traçar uma trajetória deste pensamento composicional, buscando na história da música exemplos de obras ou práticas musicais que se assemelham, em alguma medida, à ideia de sonificação. As semelhanças resumem-se a alguns aspectos como a automatização do processo composicional (ou de parte dele), a parametrização do fenômeno sonoro, e o uso simbólico do som para representar fenômenos extramusicais.

Os exemplos que são geralmente citados possuem um ou mais destes aspectos, mas não são precisamente sonificações. O exemplo mais antigo é a noção pitagórica de “música das esferas” no século VI a.C., baseada na correlação que existiria entre as proporções numéricas das distâncias entre os planetas do sistema solar e as proporções numéricas dos intervalos musicais (PROUST, 2009, p. 358), estes últimos observados por Pitágoras em seu famoso experimento com o monocórdio. O paralelo com a sonificação, nesse sentido, é mais poético do que técnico: a ideia de música das esferas pressupõe a existência de uma grande ‘música universal’ que o ser humano é incapaz de escutar. Somente através da matemática ele seria capaz de tecer relações entre a astronomia e a física dos sons, conseguindo assim conseguir representar esta música divina. Curiosamente, séculos depois de Pitágoras, Johannes Kepler retomaria esta ideia em seu *Harmonices Mundi* de 1619, associando a velocidade angular do movimento dos

planetas em torno do sol a diferentes velocidades de vibração de notas musicais, obtendo assim uma espécie de melodia para cada planeta (PROUST, 2009, p.362).

Outros exemplos anteriores ao século XX podem ser citados. Em 1436, Guillaume Dufay compôs o moteto *Nuper Rosarum Flores*, na ocasião da inauguração do novo domo da catedral de Santa Maria del Fiore, em Florença. Alguns musicólogos vieram a sugerir que Dufay compôs partes do moteto transpondo relações de proporção da arquitetura da catedral para relações entre os materiais musicais. Com alguma liberdade, poderíamos dizer que Dufay “sonificou” a estrutura da catedral. Sua intenção, porém, estava provavelmente mais ligada a uma numerologia católica, afinal, a catedral foi construída com as mesmas dimensões do Templo de Salomão – exemplo não muito diferente de uma infinidade de compositores que utilizaram a proporção áurea ou a série de Fibonacci para estruturar suas obras (GENA, 2011). Além disso, Dufay supostamente utilizou este recurso apenas em algumas frases do moteto, ao contrário da sonificação, em que o procedimento de mapeamento tende a estruturar a obra em sua totalidade. Tempos depois, no século XVIII, outro exemplo que aponta para um desejo de automatização do processo composicional pode ser encontrado em jogos musicais criados para gerar aleatoriamente pequenas peças a partir do lance de dados. Nestes jogos, cada lance de dados gera um número que corresponde a um trecho musical de uma coletânea montada especialmente para o jogo, geralmente formando danças simples como valsas ou polonaises (HEDGES, 1978). Apesar de serem claramente uma tentativa incipiente de composição algorítmica, estes jogos dependiam mais da habilidade do compilador em escolher fragmentos musicais tonais que funcionassem sempre juntos do que da ideia de acaso ou aleatoriedade – como mais tarde faria John Cage.

Para além do desejo de automatização presente nestes dois exemplos, existe também o desejo de representação de elementos extramusicais dentro da música. Identificando a referencialidade extramusical como um aspecto central da sonificação, alguns pesquisadores tentaram traçar paralelos entre a sonificação e a música programática do século XIX. Em oposição à ideia de música absoluta, em que a música não seria capaz de referenciar nada que não fosse ela mesma, a música programática pressupõe a existência de um programa, uma narrativa textual subjacente que inspira e conduz a obra. Nestas peças, os sons são usados para representar esta narrativa, às vezes imitando características acústicas de objetos ou eventos, às vezes lançando mão de símbolos musicais convencionados, como o uso de determinadas tonalidades ou coloridos instrumentais para representar estados de espírito ou ações. Qualquer paralelo com a sonificação, neste caso, estaria fundado na possível capacidade do som de transmitir informações ou de funcionar como símbolo, de forma que a única semelhança da música programática com a sonificação é a de apontar para algum elemento extramusical subjacente ao som ou à música.

Entrando no século XX, as diversas mudanças de paradigmas artísticos impulsionadas pelo pensamento moderno nos aproximam cada vez mais de um pensamento musical que, de fato, conduz para a ideia de sonificação. Neste contexto, a noção de automatização do processo composicional tornou-se especialmente forte, radicalizando-se no período pós-guerra e encontrando seu ápice na música eletrônica alemã e, posteriormente, na *computer music*. O pontapé inicial deste movimento certamente foi o dodecafonismo de Schoenberg e sua posterior radicalização por Webern, abrindo as portas para o serialismo integral. A ideia de uma série dodecafônica necessariamente implica um certo nível de automatização, pois lida com as notas musicais como se fossem números,

recombinando-as a partir de regras preestabelecidas – considere-se, por exemplo, o recurso da matriz serial, que oferece todas possíveis variações de uma série e sobre a qual se compunham peças dodecafônicas, um recurso, antes de tudo, emprestado da matemática. Trata-se, obviamente, de uma iniciativa tímida de automatização, mas que se radicalizou no momento em que compositores passaram a aplicar o mesmo pensamento serial a todos parâmetros musicais, não somente a altura. O serialismo integral tinha como premissa a parametrização de todos aspectos musicais, desde os mais básicos como altura, duração, intensidade e timbre, até aspectos formais mais globais, gerando assim toda uma peça de maneira quase automática a partir de uma sequência de números qualquer e suas recombinações. O serialismo integral partilha com a sonificação, portanto, os aspectos da automatização e da parametrização sonora. Porém, diferente dela, o serialismo se configura como um pensamento de “música absoluta”, geralmente impermeável a elementos extramusicais.

Outros compositores no período pós-guerra deram continuidade a este pensamento composicional, mas incorporando elementos extramusicais em suas abordagens composicionais. Dois deles, frequentemente citados como precursores da sonificação por pesquisadores do campo, foram Iannis Xenakis e John Cage.

Xenakis é uma figura relevante neste contexto por incorporar problemáticas científicas ao discurso musical, herança direta do compositor Edgard Varèse, com quem trabalhou diretamente no projeto do Pavilhão Philips em 1958 e que, curiosamente, já utilizava o termo *art-science* para se referir a uma nova prática musical mediada por tecnologias, renunciando, em 1939, o que viria a ser a *computer music* (VARÉSE; WEN-CHUNG, 1966; RISSET, 2004). Xenakis teve papel importante dentro da *computer music*, investigando as possibilidades da síntese granular e desenvolvendo ferramentas musicais computacionais. Contudo, sua

contribuição considerada mais importante para o campo da sonificação estaria no seu método composicional, que frequentemente empregava cálculos matemáticos estocásticos para gerar materiais musicais. Volker Straebel (2010) cita, por exemplo, a obra *Pithoprakta*, de 1955. Nesta obra, Xenakis determina a velocidade de 46 glissandos nas cordas da orquestra a partir de uma fórmula que descreve o movimento browniano de partículas gasosas, organizando as velocidades obtidas com uma função gaussiana. Com algum esforço, poderíamos ver este tipo de abordagem como uma sonificação, representando dados científicos através do som. Contudo, Xenakis certamente não estava interessado em representar dados. O uso de tais fórmulas matemáticas em sua obra servia apenas como inspiração e forma de gerar materiais musicais (STRAEBEL, 2010). Na verdade, é bem possível que Xenakis não viesse a gostar da ideia de sonificação, algo explicitado em um pequeno trecho de sua tese, *Formalized Music*, publicada originalmente em 1971:

Os tecnocratas de hoje e seus seguidores tratam a música como uma mensagem que o compositor (fonte) envia para um ouvinte (receptor). Neste sentido, eles acreditam que a solução para o problema da natureza da música e das artes em geral está nas fórmulas extraídas da teoria da informação [...] Identificações da música com mensagem, com comunicação e com linguagem são esquematizações que tendem ao absurdo e à dessecção (XENAKIS, 1992, p.180, tradução nossa)¹⁶.

Nesta mesma tese, Xenakis critica a postura de alguns compositores que incorporam a aleatoriedade em suas práticas musicais, entendendo isso como um “abuso de linguagem”, não mais do que uma música improvisada. Sem citar nomes, ele certamente se referia a Cage. Tal hostilidade só torna mais curioso o fato de que

16 “Today’s technocrats and their followers treat music as a message which the composer (source) sends to a listener (receiver). In this way they believe that the solution to the problem of the nature of music and of the arts in general lies in formulae taken from information theory. [...] Identification of music with message, with communication, and with language are schematization whose tendency is towards absurdities and desiccations” (XENAKIS, 1992, p.180).

ambos compositores são vistos como precursores da sonificação pelos mesmos motivos: automatização, parametrização do som e uso de elementos extramusicais no processo composicional. Cage, porém, talvez fosse uma figura mais influente por sua veia experimental e conceitual, alimentando o campo artístico que viria a ser a arte sonora – e, sob uma análise mais cuidadosa, veremos que diversos trabalhos de sonificação se inserem com mais facilidade nas artes sonoras do que na música.

Em muitas de suas obras, Cage empregou o acaso e a aleatoriedade como mecanismos de automatização somados à parametrização sonora. Algumas delas são também muito citadas em meio aos pesquisadores da sonificação. Em *Music of Changes* (1951), por exemplo, Cage organizou seus materiais musicais utilizando o *I-Ching*, livro milenar chinês originalmente utilizado como método de adivinhação do futuro. Ao jogar o *I-Ching*, Cage obtinha como resposta um hexagrama, que por sua vez indicava, dentro de uma tabela preestabelecida, qual material musical, dinâmica e duração deveria ser usada na peça. Repetindo este procedimento várias vezes, Cage construiu as peças que integram o *Music of Changes*. Outra obra frequentemente citada é *Atlas Eclipticalis* (1961), em que Cage colocou uma folha de partitura transparente sobreposta a um mapa astronômico, utilizando assim a posição das estrelas para gerar materiais harmônicos nos pentagramas vazios, algo que além de se aproximar da representação de dados científicos pelo som, também estabelece um conteúdo programático subjacente (STRAEBEL, 2010).

Um terceiro compositor digno de nota é Alvin Lucier, pois em algumas de suas obras a ideia de representação de dados externos à música aparece de maneira bastante explícita. Na peça *Music for Solo Performer* (1965), Lucier utiliza ondas cerebrais amplificadas para excitar em tempo real diversos instrumentos de percussão espalhados pelo palco. Estas ondas cerebrais, mais especificamente as do tipo alfa produzidas quando a mente se encontra em repouso, são coletadas de

um performer vestindo um eletroencefalograma, sendo então amplificadas e utilizadas para excitar auto-falantes acoplados nos instrumentos de percussão, fazendo-os soar. A semelhança entre esta peça e o procedimento de sonificação é evidente. Obra muito semelhante à *Music for Solo Performer* é *Clocker* (1978), que utilizava um relógio amplificado com microfones de contato, sensores GSR (resposta galvânica) para medir a resistência elétrica da pele, e um efeito de delay. O som do relógio passava pelo efeito de delay que, por sua vez, tinha sua velocidade alterada pela variação de resistência captada pelos sensores. Outra peça a ser citada é *Panorama* (1993), para trombone e piano, em que Lucier utiliza uma fotografia panorâmica dos alpes suíços como material base da obra. O contorno dos alpes na fotografia é mapeado ao glissando do trombone, que sobe e desce de acordo com a figura, e os picos dos alpes são destacados por acordes do piano. Certamente, é a peça que mais se assemelha à sonificação, com mapeamentos diretos e com a estrutura geral definida inteiramente pelos dados (no caso, pela fotografia).

4.1 Sonificação e computer music

Paralelamente a esta trajetória musical do pós-guerra, e ao mesmo tempo alimentada por ela, a *computer music* se desenvolveu. Iniciada nos Estados Unidos a partir de pesquisas em telecomunicações após a segunda guerra mundial, esta nova prática estava completamente fundada nas possibilidades oferecidas pelas tecnologias computacionais em desenvolvimento na época, de forma que cada avanço tecnológico nesta área de pesquisa sempre implicou também em avanços na própria *computer music*. Observando sua história, talvez pudéssemos entendê-la como um exemplo de *art-science*, especialmente dentro da lógica interdisciplinar de inovação, pois surgiu e se desenvolveu principalmente dentro dos *studio-labs* – a

Bell Laboratories sendo o mais importante deles – a partir de uma intensa colaboração entre cientistas e compositores.

Alguns dos compositores que influenciaram ou colaboraram com o desenvolvimento da *computer music*, tanto de maneira direta como indireta, já foram citados aqui, como Cage e Xenakis, e outros tantos poderiam ser citados; perceberíamos, porém, que a maioria destes compositores partilharam em alguma medida de um pensamento composicional herdado da escola serial, que prezava pela automatização do processo composicional a partir da parametrização sonora. A *computer music* talvez represente a continuidade e o ápice deste pensamento, implementando todas estas idéias no ambiente computacional e tornando-as elemento central de sua prática – um encontro conveniente entre compositores interessados em experimentar com a automatização da criação musical e computadores criados com o único objetivo de automatizar processos.

Dentro deste contexto, a noção de composição algorítmica merece especial atenção, pois agora o ato composicional está mais ligado à criação de regras e procedimentos para serem realizados pelo computador de maneira automática do que aos procedimentos tradicionais de composição instrumental. Esta noção é também a que mais nos aproxima da sonificação. Segundo Curtis Roads (1996), o que levou ao surgimento da composição algorítmica foi a possibilidade de reproduzir automaticamente sequências musicais. Assim, um equipamento controlado sequencialmente [sequence-controlled device] recebe uma sequência ordenada de dados com instruções que lhe dizem quando tocar e o que tocar. Este é o mesmo paradigma de ambientes de programação musical consagrados, como os da série MUSICn, desenvolvidos inicialmente por Max Mathews na Bell Labs, e seu sucessor, o CSOUND. Nestes programas as tarefas eram divididas em dois componentes, a 'orquestra', encarregada de definir os *unit generators* (unidades básicas que

simulam osciladores, filtros, efeitos, etc), e a 'partitura', encarregada de enviar instruções para a orquestra na forma de sequências de dados. Em última análise, trata-se de um mapeamento com os dados da 'partitura' controlando o comportamento da 'orquestra'. Estão dadas, portanto, as condições para que a sonificação se desenvolva enquanto prática musical e artística: basta apenas um passo a mais para tocar os dados da 'partitura' por outros dados coletados de um fenômeno qualquer.

Assim, o surgimento da sonificação está diretamente ligado às possibilidades técnicas oferecidas pela *computer music*, mas também ao próprio pensamento composicional inerente aos paradigmas de funcionamento das primeiras ferramentas computacionais. Alguns pesquisadores, como Peter Sinclair (2013), por exemplo, entendem a sonificação como um braço da *computer music*, colocando como diferença entre elas apenas o fato de a segunda lidar, geralmente, com processos desconectados do mundo externo ao computador ou com a interação gestual humana em tempo real. Curiosamente, a peça musical mais antiga que encontrei em minha pesquisa e que pode ser vista como uma sonificação de maneira inequívoca – apesar de ainda não utilizar o termo sonificação – é uma peça de *computer music*: *Earth's Magnetic Field*¹⁷ (1970), do compositor Charles Dodge, que sonifica a atividade magnética na atmosfera terrestre causada por ventos solares, mapeando os valores das medições destas intensidades em notas musicais.

5. Sonificação e arte sonora

Em alguns momentos do texto, quando apresentei as obras geralmente consideradas por pesquisadores como antecedentes da sonificação, fiz uma

17 Excerto de *Earth's Magnetic Field* disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=j5MHsnc67yw>>. Acesso em: 06/06/2019.

ressalva com relação à sua estruturação, observando como algumas delas – como *Nuper Rosarum Flores* ou *Pithoprakta* – não tratam a representação de dados como elemento discursivo fundamental. O fato é que, olhando para a história do pensamento composicional ocidental de maneira geral, o controle estrutural da obra e do discurso musical (“a mão do compositor”) sempre foram aspectos muito caros à criação musical – aspectos quase sempre articulados a partir de formas musicais tradicionais, regras de composição de cada período ou ainda a partir da expressividade do compositor, mas nunca articulados de maneira automatizada a partir de dados extramusicais, como faz a sonificação.

Na sonificação, mapear dados a sons quase sempre significa abrir mão, ao menos parcialmente, do controle da estrutura e do discurso musical da obra, pois os dados e a forma como eles são mapeados passam a ditar estes dois aspectos. Se imaginarmos um cenário possível de sonificação em que, por exemplo, dados sobre os valores da cotação do dólar são mapeados à frequência de um oscilador, todos os eventos sonoros internos desta obra estarão sujeitos à cotação do dólar, de forma que um eventual glissando ascendente não estaria ali por uma questão estrutural maior ou por uma escolha composicional, mas porque os dados assim estão configurados. Isso não impede, é claro, que o compositor tenha uma ação criativa sobre estes dados, pois tanto a escolha dos dados quanto dos sons são, antes de tudo, decisões composicionais. Alguns artistas mais comprometidos com a composição musical tradicional utilizam a sonificação de maneira mais flexível, realizando suas intervenções no processo. Um compositor pode optar por escolher sonoridades que ele sabe que funcionarão bem juntas, antevendo o comportamento dos dados sendo sonificados, ou ainda criar seções distintas na peça para tentar criar um discurso musical lógico. Todavia, estas são maneiras de contornar o problema musical estrutural inerente à sonificação, que continua presente.

A questão que se coloca, portanto, é o quanto a sonificação se afasta da prática musical na medida em que se afasta de aspectos que lhe são tão caros. Uma resposta possível está em outras práticas que partilham destas características, como a da arte sonora. As discussões sobre as relações entre arte sonora e música são muito mais amplas e complexas do que o escopo deste artigo, mas podemos aceitar algumas noções gerais sobre o que delimita estes campos:

Por arte sonora entendemos a reunião de gêneros artísticos que estão na fronteira entre música e outras artes, nos quais o som é material de referência dentro de um conceito expandido de composição, gerando um processo de hibridização entre o som, imagem, espaço e tempo. Entre outras questões, a concepção estética desse repertório vai ao encontro da reflexão e inclusão de elementos que geralmente possuem um valor secundário, ou mesmo inexistente na criação musical tradicional, tais como o espaço, a visualidade, a performance e a plasticidade (CAMPESATO; IAZZETTA, 2006).

A prática artística da sonificação se aproxima da arte sonora em alguns destes termos. Perceberemos que muitas obras de sonificação se apresentam como instalações ou esculturas que dialogam com o seu espaço (ou com um outro espaço à distância), que incorporam elementos visuais (especialmente quando o objeto da sonificação é visível ou quando imagens e sons são gerados a partir dos mesmos dados) e que utilizam o som de uma maneira mais “plástica” e menos discursiva nos termos da composição musical tradicional. Perceberemos, inclusive, que muitas obras de sonificação são realizadas por artistas visuais que, acostumados a lidar com mídias digitais e eletrônicas, transitam com liberdade dentro do campo sonoro, trazendo consigo uma preocupação notadamente espacial.

Campesato e Iazzetta (2006) observam como as noções de espacialidade e temporalidade são bastante diferentes na música e na arte sonora – distinções que podem ser observadas em alguns trabalhos de sonificação. Na arte sonora, o

espaço torna-se parte integrante e essencial das obras. São obras que geralmente se apresentam como instalações ou esculturas sonoras, com o som assumindo o papel de elemento unificador. Já sob a perspectiva temporal, a arte sonora substitui as tradicionais formas discursivas temporais da música (baseadas em estruturas como motivos e frases e seu subsequente desenvolvimento) por uma abordagem menos linear do som, prescindindo de um “desenvolvimento temporal mais extenso ou elaborado” (p. 778). Isso significa que a apreciação destas obras não depende da escuta em sua totalidade, pois não existem começos ou finais determinados.

Para exemplificar estas relações colocadas pela sonificação na arte sonora, escolhi a instalação *Building Materials*¹⁸ (2010), do artista Owen Lloyd. Esta foi uma instalação baseada na sonificação em tempo real de atividades diversas dentro do edifício da galeria de arte Exeter Phoenix, em Londres. Para isso, diversos sensores foram instalados por todo o edifício para capturar não apenas atividades humanas (como abrir e fechar de portas, uso de elevadores, movimentação dentro do espaço, etc), mas também temperatura, uso do ar- condicionado e níveis de luminosidade. Curiosamente, um sensor também foi instalado no corpo de um piano de armário da galeria, possivelmente um microfone de contato. Todos os dados recolhidos eram então sonificados por um sistema instalado em uma sala específica do edifício, onde os sons eram de fato emitidos por alto-falantes.

Como se nota, diversos aspectos aproximam esta obra de uma noção de arte sonora. Claramente o som é o seu elemento unificador, aspecto evidenciado pelo próprio uso da sonificação para tornar audível a movimentação interna do prédio. Apesar disso, não há nada de estritamente musical em termos estruturais nesta obra, com exceção talvez da presença - irônica - do piano de armário. A ideia de estrutura musical dá lugar ao acaso ou à própria estrutura de funcionamento do

18 Registro de *Building Materials* disponível em: <<https://vimeo.com/24221056>>. Acesso em: 06/06/2019.

prédio, que provavelmente é mais movimentado em alguns horários do dia (mais pessoas transitando, mais luzes acesas, etc), e tal movimentação é representada diretamente na sonificação. A temporalidade da peça, portanto, é suspensa, pois, ao sonificar em tempo real estas movimentações, não cria uma direção discursiva determinada: como não há começo, meio ou fim, o visitante pode experimentar a obra a qualquer momento e por qualquer duração. Também a espacialidade é fundamental para esta obra, que tem o próprio edifício no qual ela se encontra como tema e fonte de dados. Esta poética espacial é reforçada visualmente pelo artista com um uso interessante dos cabos que conectam os sensores ao computador que realiza a sonificação. Os cabos foram cobertos com fitas coloridas (referência ao mapa do metrô de Londres), criando uma teia visual espalhada pelo prédio que converge na medida em que se aproxima da sala da instalação, conduzindo assim o visitante para este ambiente.

6. Sonificação e *data art*

Da mesma forma que investigamos a sonificação sob as perspectivas da *art-science*, da música e da arte sonora, podemos também investigá-la sob a perspectiva contemporânea de uma cultura de dados, melhor expressa na prática artística que tem sido denominada *data art*¹⁹. A *data art* lida diretamente com a realidade tecnológica da sociedade contemporânea, uma realidade de digitalização dos meios de comunicação, de absoluta conectividade via internet e de globalização. Lida, portanto, com uma sociedade que produz uma quantidade assustadora de dados a todo instante. É apenas natural que, após uma longa trajetória de

19 Muito do que entendemos neste contexto como *data art* é por vezes tratado como *media art* ou *new media art*. Apesar de não ser um termo utilizado de maneira tão recorrente como estes dois últimos, nos parece interessante pensar na *data art* por pressupor uma prática especificamente voltada para o uso de dados, algo que não necessariamente acontece em práticas de *media art* ou *new media art*.

incorporação das mídias nascidas no século XX pelas artes, esta nova realidade tecnológica também viesse a ser incorporada, criando uma prática artística preocupada com a profusão e com a ubiquidade destes dados na sociedade. A *data art* é aquela que toma estes dados como elemento poético e como material básico, gerando a partir deles imagens, sons, estruturas, etc.

O grosso da produção artística e teórica sobre este tipo de abordagem está no âmbito da visualização, a contraparte visual da sonificação em que dados são representados através de imagens ou gráficos. A maioria das obras de *data art* se apresentam como imagens, instalações ou esculturas geradas a partir de dados. Contudo, diversos artistas, pela própria natureza intangível e maleável do dado digital, lidam com imagens e sons de maneira indiscriminada, criando obras que articulam ao mesmo tempo técnicas de visualização e de sonificação. Como observa Simanowski, ao introduzir a noção de *mapping art*:

Mapping art é a arte na qual o computador celebra a si mesmo, pois esta arte se manifesta sobre a qualidade mais significativa do computador: uma vez digitalizados, uma vez representados para a máquina, todos fenômenos perdem seu corpo e passam a viver como códigos numéricos que podem ser facilmente materializados em diferentes formas (SIMANOWSKI, 2011, p.158, tradução nossa)²⁰.

É sintomático que uma das primeiras obras celebradas de *data art* contenha elementos visuais e sonoros em jogo. A obra em questão é a instalação *Listening Post*²¹ (2001), uma colaboração entre o artista sonoro Ben Rubin e o matemático estatístico Mark Hansen. Esta é uma instalação baseada na visualização e sonificação de mensagens de texto coletados em fóruns, chats e *bulletin boards*

20 "Mapping art is the art in which the computer celebrates itself because this art is made manifest on the basis of the computer's most significant feature: once digitized, once represented to the machine, all phenomena lose their bodies and live as numerical code that can easily be materialized in different forms" (SIMANOWSKI, 2011, p.158).

21 Registro de *Listening Post* disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=dD36lajCz6A>>. Acesso em: 06/06/2019.

online. Para isso, os artistas desenvolveram um sistema para monitorar e coletar postagens em alguns websites específicos, alimentando a instalação com novas informações em tempo real. Este sistema também realizava uma espécie de síntese dos conteúdos das postagens, identificando e organizando seus tópicos principais para facilitar o posterior processamento – note-se, portanto, que estamos tratando aqui de uma noção ampliada de ‘dados’, que inclui também o processamento da informação nos níveis sintáticos e semânticos, não mais restrito ao nível da representação numérica. Na instalação, os textos eram exibidos um por vez nas 231 pequenas telas arranjadas em formato de grade [grid] e colocadas no espaço de maneira quase teatral, com o público sentado a sua frente.

Como o título sugere, *Listening Post* tem em seu cerne o som, sonificando em tempo real o conteúdo das postagens (via *text-to-speech*), suas aparições nas telas (com um som de clique) e outras informações coletadas pelo sistema da instalação, como recorrência de tópicos ou o nível de atividade em um *chat-room* específico. Estes últimos dados foram usados para provocar mudanças harmônicas em um sistema musical generativo criado pelos artistas (MODES, 2013). O resultado sonoro da instalação consistia em cliques e frases espaçadas recitadas por vozes sintetizadas, tudo isso sobre uma camada musical de arpejos e acordes tonais.

Esta obra possui claramente uma intenção política ao lidar com informações geradas por usuários na internet – característica recorrente na *data art*. Mesmo no ano de sua primeira realização, em 2001, a internet já possuía uma presença forte o suficiente para levantar questões sobre privacidade, vigilância, ubiquidade e conectividade; questões presentes em *Listening Post* de maneira evidente. Junto com a dimensão visual e instalativa, a sonificação aparece nesta obra como uma maneira de “materializar” estes dados e metadados, criando assim um ambiente que

permite aos visitantes tomar consciência de sua própria atividade na internet e estabelecer algum tipo de relação afetiva com estes dados.

Além da atividade de usuários em rede, uma temática bastante relevante e recorrente em obras de *data art* diz respeito a fenômenos sociais e econômicos. Os dados sobre estes fenômenos são geralmente coletados por agências governamentais ou entidades não lucrativas, como ONGs, com finalidades de pesquisa ou mapeamento demográfico. Ou seja, são bancos de dados de acesso aberto que o artista se apropria livremente. As obras que lidam com estes dados acabam assumindo, inevitavelmente, uma dimensão mista de informação, pois atuam como registros dos fenômenos aos quais os dados se remetem, e subversão, pois os deslocam de seus contextos originais para modificar ou atribuir-lhes um novo sentido.

Um projeto especialmente interessante dentro desta lógica é o *Data-Driven DJ*²², iniciado em 2015 pelo programador e músico amador Brian Foo. Este projeto consiste em dez obras de sonificação e visualização, algumas delas feitas a partir de dados de fenômenos sociais, gerando, como resultado final, vídeos curtos disponibilizados em plataformas como Youtube e Vimeo. Na primeira obra do projeto, por exemplo, Foo utiliza dados sobre a renda média de cada região por onde passa a segunda linha do metrô de Nova Iorque²³. Na sonificação, ele faz aumentar a dinâmica e o número de instrumentos em bairros onde a renda é maior; na visualização, um pequeno mapa do metrô e um diagrama com as estações acompanha o desenvolvimento sonoro, mostrando a atual posição da leitura dos dados. Chama a atenção o aspecto didático deste projeto. Foo utiliza apenas dados de acesso público, *softwares* de código aberto e samples de sons de domínio

22 *Data Driven DJ* disponível em: <<https://datadrivendj.com/>>. Acesso em: 06/06/2019.

23 Vídeo desta obra, intitulada *Two Trains – Sonification of Income Inequality on the NYC Subway*, disponível em: <<https://vimeo.com/118358642>>. Acesso em: 06/06/2019.

público ou sob a licença Creative Commons. Cada uma das dez obras possui uma descrição detalhada sobre a proveniência e o contexto dos dados, *softwares* utilizados, os tipos de mapeamentos realizados e a origem dos sons sampleados. Ou seja, o projeto inteiro é amplamente documentado, aspecto que poderíamos analisar como reflexo de uma abordagem quase jornalística em torno dos dados, pois preza pela clareza na representação da informação.

Uma terceira abordagem comum em obras de *data art* está relacionada com a ideia de *self-tracking*, ou seja, com o automonitoramento de diversos aspectos da vida pessoal, como a própria saúde, performance esportiva, humor, geolocalização e deslocamento. A possibilidade de uma cultura de *self-tracking* existir está intimamente relacionada com o surgimento de *smartphones* – que, como muitos argumentam, é de fato o primeiro computador pessoal da história, por ser um instrumento portátil e de uso pessoal relativamente intransferível – e de seus aplicativos e acessórios tecnológicos – como, por exemplo, aplicativos de monitoramento de batimentos cardíacos que funcionam associados a um eletrocardiograma vestido pelo usuário. Este tipo de cultura de *self-tracking* produz uma certa quantidade de dados que precisam ser materializados de alguma forma para que o usuário possa explorá-los. Da mesma forma que eles podem ser visualizados de maneira clara e eficiente através de gráficos ou textos, estes dados também podem ser apropriados por práticas artísticas interessadas em dialogar com esta realidade tecnológica.

Alguns projetos de sonificação se inserem neste contexto, como por exemplo a obra *Quotidian Record*²⁴ (2012), do artista Brian House, que sonifica dados de GPS gerados pelos deslocamentos do próprio artista. Esta obra consiste em um disco de vinil gravado com o áudio da sonificação de dados de posicionamento

24 *Quotidian Record* disponível em: <https://brianhouse.net/works/quotidian_record/>. Acesso em: 06/06/2019.

coletados por House durante um ano inteiro. A peça inteira dura aproximadamente 11 minutos, com cada rotação representando um dia. No corpo do disco estão marcados os dias, faixas de horário e alguns locais específicos visitados pelo artista durante o período (como casa, trabalho, etc). Poucas informações em relação ao mapeamento são fornecidas na descrição do trabalho, exceto que cada um destes locais visitados foi mapeado a determinadas relações harmônicas. O resultado sonoro em si flerta com a música eletrônica de dança, utilizando um ritmo pulsante, repetições (possivelmente ocasionadas por padrões repetitivos do cotidiano do artista) e materiais musicais modais. É curiosa a forma como House, ao utilizar a mídia do disco de vinil, materializa seus dados em um objeto manuseável e relativamente portátil, permitindo ao ouvinte explorar estes dados através das indicações impressas no corpo do disco: a agulha faz a leitura dos dados, possivelmente permitindo ao ouvinte escutar padrões nos trajetos da vida cotidiana do artista. Como consta na descrição de sua obra:

Enquanto um vinil físico, *Quotidian Record* pode ser colecionado e fetichizado, conectando o valor dos dados de hoje em dia com a história da cultura da música popular. Ele promove uma alternativa expressiva, corporificada e até mesmo nostálgica às narrativas de classificação e controle típicas das infraestruturas estatais e corporativas (HOUSE, 2012, tradução nossa)²⁵.

Esta afirmação não serve apenas para *Quotidian Record*, mas para todas as obras de sonificação que citamos até aqui dentro desta cultura de dados. Por um lado temos uma atitude subversiva, expressa pelo confronto com os mecanismos tradicionais de gerenciamento de dados e o jogo político que se formou em torno deles (vide *WikiLeaks* e os atuais usos de análise de *big data* em campanhas eleitorais). Por outro lado, temos a tentativa artística de se criar novas narrativas

25 "As physical vinyl, *Quotidian Record* may be collected and fetishized, connecting the value of data today with the history of popular music culture. It provides an expressive, embodied, and even nostalgic alternative to the narratives of classification and control typical of state and corporate data infrastructure" (HOUSE, 2012).

para estes dados. No fundo, todas estas obras propõem uma nova maneira das pessoas se relacionarem com uma realidade tecnológica já consumada em que dados assumem um papel indispensável em suas vidas e na sociedade contemporânea.

7. Considerações finais

Partindo da ideia colocada desde o princípio de que a sonificação se configura mais como uma técnica ou procedimento do que como uma estética ou um gênero artístico bem definido, traçamos um panorama desta prática, passando por diversas de suas expressões, discursos e contextos. Assim, enquanto técnica, seus usos são tão múltiplos quanto os contextos em que ela se insere ou as intenções de quem a usa, e disso resulta uma enorme variedade estética – variedade que tentamos contemplar neste panorama ao tratar da *art-science*, da música, da arte sonora e da *data art*. Não acredito ter esgotado todas as suas possibilidades artísticas, mas de cada um desses campos específicos extraímos aspectos importantes da sonificação, desde os interesses dos artistas e pesquisadores que a utilizam, até suas possíveis implicações políticas, passando por considerações estéticas. Torna-se, então, um enorme desafio encontrar elementos que amarrem todas estas perspectivas da sonificação, especialmente porque sobrepõem-se perspectivas artísticas e científicas sobre esta prática. Se a sensação é a de que minha descrição da sonificação é fragmentária, é porque a prática da sonificação é, realmente, fragmentada, partindo de trajetórias artísticas muito diversas.

Agradecimentos

Este texto é fruto da minha pesquisa de iniciação científica intitulada “Aspectos técnicos e estéticos da sonificação na música e nas artes sonoras”, realizada sob orientação do Prof. Dr. Fernando Henrique de Oliveira Iazzetta e com o apoio da FAPESP.

Referências bibliográficas

- BALLORA, Mark. Sonification, Science and Popular Music: In search of the 'wow'. **OrganisedSound**, [s.l.], v. 19, n. 01, p.30-40, 26 fev. 2014. Cambridge University Press.
- BARRASS, Stephen; KRAMER, Gregory. Using sonification. **Multimedia Systems**, v. 7, n. 1, p.23-31, 1 jan. 1999.
- BARRY, Andrew; BORN, Georgina; WESZKALNYS, Gisa. Logics of interdisciplinarity. **Economy And Society**, [s.l.], v. 37, n. 1, p.20-49, fev. 2008. Informa UK Limited.
- BORN, Georgina; BARRY, Andrew. ART-SCIENCE. **Journal Of Cultural Economy**, [s.l.], v. 3, n. 1, p.103-119, mar. 2010. Informa UK Limited.
- CAMPESATO, L., e IAZZETTA, F. "Som, espaço e tempo na arte sonora". Anais do XVI Congresso da ANPPOM, Brasília, 2006.
- CANDEY, Robert M.; SCHERTENLEIB, Anton M.; MERCED, Wanda L. Diaz. XSONIFY Sonification Tool for Space Physics. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUDITORY DISPLAY, 12., 2006, London. **Proceedings...**. London: International Community On Auditory Display, 2006. p. 289 – 290.
- DOMBOIS, Florian et al. Sonifyer: A Concept, a Software, a Platform. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUDITORY DISPLAY, 14., 2008, Paris. **Proceedings...**. Paris: International Community On Auditory Display, 2008.
- GAVER, William W.. The SonicFinder: An Interface That Uses Auditory Icons. **Humancomp. Interaction**, [s.l.], v. 4, n. 1, p.67-94, 1 mar. 1989.
- GENA, Peter. Apropos sonification: a broad view of data as music and sound. **Ai & Society**, [s.l.], v. 27, n. 2, p.197-205, 31 ago. 2011. Springer Nature.
- HEDGES, Stephen A.. Dice music in the eighteenth century. **Music & Letters**, [s.l.], v. 59, n. 2, p.180-187, abr. 1978.
- HERMANN, Thomas – **Taxonomy and Definitions for Sonification and Auditory Display**. Proceedings of the 14th International Conference on Auditory Display. Paris, França. 2008.
- HOUSE, Brian. **Quotidian Record**. 2012. Disponível em: <https://brianhouse.net/works/quotidian_record/>. Acesso em: 09/05/2019.
- IDEAS. **IDEAS Grant Program**. 2004. Disponível em: <https://www.nasa.gov/audience/foreducators/postsecondary/features/F_IDEAS.html>. Acesso em: 09/05/2019.
- KRAMER, Gregory et al. **Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda**. International Community For Auditory Display, 1997.
- LCHSOUND. **About LHCsound**. [2010?]. Disponível em: <http://lhcsound.hep.ucl.ac.uk/page_about/About.html>. Acesso em: 09/05/2019.
- MACLAY, Kathleen. **Interactive music from CO2 readings: Program notes**. [2002?]. Disponível em: <<http://chrischafe.net/oxygen-flute/>>. Acesso em: 09/05/2019.
- MODES, Wes. Revisiting the Technical Achievements of Listening Post Ten Years On. **Nmediac: The Journal of New Media and Culture**, v. 9, n. 1, 2013.
- MOGGRIDGE, Bill. **Designing Interactions**. London: The Mit Press, 2007.
- PROUST, Dominique. The Harmony of the Spheres from Pythagoras to Voyager. **Proceedings Of The International Astronomical Union**, [s.l.], v. 5, n. 260, p.358-367, jan. 2009. Cambridge University Press.
- RISSET, Jean-claude. The Liberation of Sound, Art-Science and the Digital Domain: Contacts With Edgard Varèse. **Contemporary Music Review**, [s.l.], v. 23, n. 2, p.27-54, jun. 2004. Informa UK Limited.
- ROADS, Curtis. **The Computer Music Tutorial**. Cambridge: The MIT Press, 1996.
- SIMANOWSKI, Roberto. **Digital Art and Meaning: Reading Kinetic Poetry, Text Machines, Mapping Art, and Interactive Installations**. Minneapolis: University Of Minnesota Press, 2011. (Electronic Mediations 35).
- SINCLAIR, Peter Francis. **Using Real-Time Data Flux in Art - The Mediation of a Situation as it Unfolds: RoadMusic - An Experimental Case Study**. 2013. 272 f. Tese (Doutorado) - Curso de Filosofia, University Of The Arts London, Londres, 2013.

-
- STRAEBEL, Volker. The sonification metaphor in instrumental music and sonification's romantic implications. In: THE 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUDITORY DISPLAY, 16., 2010, Washington D.c.. Proceedings. Washington: International Community For Auditory Display, 2010. v. 20, p. 287 – 294.
- SUPPER, Alexandra. Sublime frequencies: The construction of sublime listening experiences in the sonification of scientific data. **Social Studies Of Science**, [s.l.], v. 44, n. 1, p.34-58, fev. 2014. SAGE Publications.
- SUPPER, Alexandra. The Search for The "Killer Application": Drawing The Boundaries Around The Sonification of Scientific Data. In: PINCH, Trevor; BIJSTERVELD, Karin. **The Oxford Handbook of Sound Studies**. Nova Iorque: Oxford University Press, 2012. p. 249-270.
- VARESE, Edgard; WEN-CHUNG, Chou. The Liberation of Sound. **Perspectives Of New Music**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.11-19, 1966.
- VICKERS, Paul; HOGG, Bennett. **Sonification Abstraite/Sonification Concrète: An 'Aesthetic Perspective Space' for Classifying Auditory Display in the Ars Musica Domain**. Proceedings of the 12th International Conference on Auditory Display. Londres, UK. 2006.
- XENAKIS, Iannis. **Formalized Music: thought and mathematics in composition**. Stuyvesant: Pendragon Press, 1992. (Harmonologia Series).