

Instrumentos eletroacústicos de tecla e seu uso na música microtonal

Charles Klippel Neimog
(Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora-MG)

Felipe de Almeida Ribeiro
(Universidade Estadual do Paraná, Curitiba-PR)

Resumo: Neste texto analisamos os instrumentos eletroacústicos de tecla que possibilitaram a execução de estruturas microtonais e afinações alternativas. Além de um levantamento histórico sobre esses instrumentos, também nos interessa saber a relação destes com a composição microtonal. Investigamos também as razões pelas quais esses instrumentos não atingiram um nível de difusão em massa. Concluimos que há uma forte relação entre os instrumentos microtonais com a cultura de percepção sonora, e os problemas não são necessariamente de viabilidade de construção de novos instrumentos. Para tanto, nos baseamos nos estudos de Joel Chadabe, Hugh Davies, Nicole Gagné, Franck Jedrzejewski, Jon Appleton, Ben Kettlewell, Thomas Patteson e Curtis Roads.

Palavras-chave: Microtonalidade. Música eletroacústica. Sistemas de afinação. Instrumentos de tecla.

Electroacoustic Keyboard Instruments and their Application in Microtonal Music

Abstract: In this text we analyze the electroacoustic keyboard instruments that enable the rendering of microtonal structures and alternative tuning. In addition to a historical analysis of these instruments, we are also interested in understanding their relationship to microtonal composition. We also investigate the reasons why these instruments did not reach a level of mass diffusion. We conclude that there is a strong relationship between microtonal instruments and the culture of sound perception, and the issues are not necessarily on the feasibility of building new instruments. In this research we rely on the studies of Joel Chadabe, Hugh Davies, Nicole Gagné, Franck Jedrzejewski, Jon Appleton, Ben Kettlewell, Thomas Patteson, and Curtis Roads.

Keywords: Microtonality; electroacoustic music; tuning systems; keyboard instruments.

Desde o período da ascensão da música instrumental no período barroco, seguido de seu período de consolidação, houve sérias preocupações com a escolha dos sistemas de afinação e com suas viabilidades de performance. A questão da afinação existe sistematicamente desde a Grécia antiga, sendo o sistema de afinação atribuído a Pitágoras reconhecido como o mais antigo. Nesse sentido, Neil Bibby afirma que:

Nos tempos da Grécia Antiga, reconhecia-se que os sons musicais consonantes se relacionavam a simples razões numéricas. No entanto, ao usar esse conhecimento para construir uma escala de notas para afinar um instrumento, surgem problemas. Esses problemas são especialmente perceptíveis na transposição de alturas, de forma que possam ser executadas em tonalidades diferentes. Uma solução adotada na música europeia ao longo dos últimos séculos tem sido recorrer à matemática de uma forma diferente e conceber uma escala “igualmente temperada”¹ (BIBBY apud FAUVEL; FLOOD; WILSON, 2003: 13, tradução nossa).

Além das afirmações de Bibby, Franck Jedrzejewski (2002: 45) afirma que a arte do temperamento sempre se baseou na tarefa de resolver a relação de afinação entre as quintas. Como consequência deste problema, encontramos ao longo da história da música diversas experiências de teorias de temperamentos. São exemplos as afinações da escola pitagórica (Grécia Antiga), Schlick, Kepler, Werckmeister, Helmholtz (Alemanha), Dowland, Young e Herschel (Inglaterra), Pietro Aaron, Rossi, Ganassi, Martini (Itália), Sauveur, Vincent, Rameau, Rousseau (França), até os temperamentos contemporâneos de Wendy Carlos, Bohlen-Pierce, Harry Partch e Ben Johnston, entre muitos outros (JEDRZEJEWSKI, 2002).

Essa amplitude de teorias reflete a magnitude desta temática, que muito impactou a performance e luteria, assim como, naturalmente, a rotina do compositor. A dificuldade em lidar com as teorias de afinação – tanto do ponto de vista do construtor quanto do performer e compositor – estão muito relacionadas com qual conceito se adota para a questão da consonância. Bibby afirma que essa terminologia pode ser abordada tanto pela perspectiva psicológica quanto física:

A consonância é tanto um critério psicológico quanto físico: duas notas são consonantes se soarem “agradáveis” quando tocadas juntas. Em termos físicos, isso parece ocorrer quando a razão de frequência das duas notas é uma proporção de números inteiros baixos: quanto mais simples a relação, mais consoantes são as duas notas² (BIBBY apud FAUVEL; FLOOD; WILSON, 2003: 13, tradução nossa).

¹ “In Ancient Greek times it was recognized that consonant musical sounds relate to simple number ratios. Nevertheless, in using this insight to construct a scale of notes for tuning an instrument, problems arise. These problems are especially noticeable when transposing tunes so that they can be played in different keys. A solution adopted in European music over the last few centuries has been to draw upon mathematics in a different way, and to devise an 'equally-tempered' scale” (BIBBY apud FAUVEL; FLOOD; WILSON, 2003: 13).

² “Consonance is both psychological and a physical criterion: two notes are consonant if they sound ‘pleasing’ when played together. In physical terms this seems to occur when the frequency ratio of the two notes is a

Com base nos conceitos acima, analisaremos a seguir alguns instrumentos eletroacústicos de teclas, especialmente na perspectiva de seus potenciais para viabilizar a execução de obras microtonais. Para tanto, analisaremos a seguir: [1] um levantamento histórico da construção de instrumentos acústicos de teclas com viabilidade de execução microtonal; [2] o desdobramento disto nos séculos XX e XXI com os instrumentos eletroacústicos de teclas desenvolvidos com possibilidade de execução microtonal.

Para efeitos de comparação, priorizaremos a seguir os instrumentos de teclas. É importante salientar que muitos instrumentos foram experimentos que não alcançaram uma difusão suficientemente grande para atingir o interesse dos compositores e do público, de uma forma geral. Isto posto, muitos instrumentos serão citados pela sua importância histórica, mesmo carentes de exemplos dentro do repertório musical.

Considerações sobre o instrumental histórico

Na área da luteria surgiram ao longo da história algumas propostas de design de instrumento para solucionar os problemas de afinação. Muitos desses instrumentos surgiram concomitantemente com suas afinações. Exemplo histórico disso é Pitágoras com o monocórdio (Fig. 1), instrumento cordofone de onde extraiu as razões para o que ficou depois reconhecido como Afinação Pitagórica³ (Tab. 1).

$\frac{1}{1}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{81}{64}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{27}{16}$	$\frac{243}{128}$	$\frac{2}{1}$
-	+3.9¢	+7.8¢	-1.95¢	+1.95¢	+5.8¢	+9.7¢	-

Tab. 1: Escala Diatônica Pitagórica (LOY, 2006: 49).



Fig. 1: Ilustração de Pitágoras e um monocórdio (GARLAND; KAHN, 1995: 97).

ratio of low integers: the simpler the ratio, the more consonant are the two notes” (BIBBY apud FAUVEL; FLOOD; WILSON, 2003: 13).

³ Na tabela encontram-se em cents (¢) os desvios necessários para se atingir a proporção pretendida. Os valores relacionam-se com a escala de temperamento igual (12 divisões da oitava). Observar que 1 semitom = 100 cents.

Apesar de ser um sistema de afinação relativamente consonante, se levarmos em conta seu intervalo base de razão 3/2, é sabido que este sistema apresenta problemas de afinação ao aplicarmos nele o conceito de transposição e modulação tonal. Gera-se o que ficou conhecido como “coma pitagórica”, uma defasagem entre múltiplas transposições de 5ª que, ao fim de 12 ciclos, não chega mais na mesma nota de origem⁴. Esta coma possui valor aproximado de 23.46 cents, i.e., um ciclo completo de quintas chegará no ponto de origem 23.46 cents defasado. Apesar dessa característica, este sistema de afinação foi grande referência para a música ocidental durante o período da Idade Média.

Por conta da forte presença das teclas enquanto interface para o músico, desde o século XVII até o século XXI, investigaremos algumas soluções concretizadas em teclados para a execução de música microtonal em instrumental acústico. Temos no século XVII um dos mais célebres exemplos de solução para execução desta música, que aqui chamamos de microtonal⁵. Trata-se do modelo de teclado de Marin Mersenne (1588-1648), com 31 alturas dentro da oitava (Fig. 2).

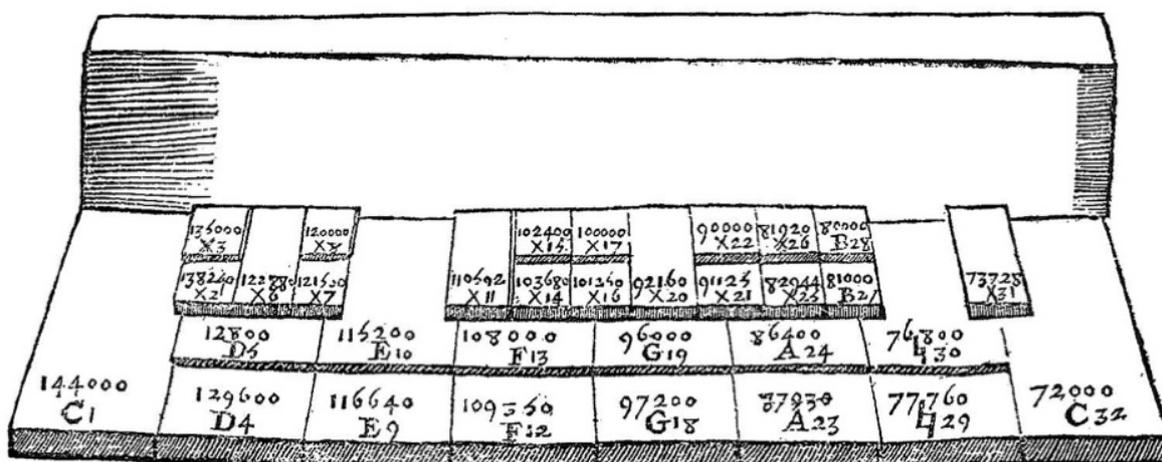


Fig. 2: Teclado de Marin Mersenne com 31 alturas (FAUVEL; FLOOD; WILSON, 2003: 22).

Este instrumento se revela como uma alternativa para a busca de consonância em sistemas diatônicos, e não necessariamente para uso de *clusters* no sentido microtonal e cromático da palavra – como György Ligeti o fez mais tarde com seu método composicional de micropolifonia. Para melhor dimensionar o problema pelo qual este instrumento se propõe a solucionar, imaginemos a nota Si nas tonalidades de Dó e Fá# Maior em afinação pitagórica. Em Dó, o Si assume VII grau da escala apresentando cerca de 10 cents a mais do que a sua respectiva nota do sistema temperado (5 ciclos de quinta a partir de Dó). Já Si em Fá# é o IV grau da escala, tendo, portanto, cerca de -2 cents de desvio. Do ponto de vista prático, torna-se impossível executar uma obra com essas duas tonalidades dentro de um mesmo teclado com sistema de 12 teclas por oitava. É nesse ponto que o teclado de Mersenne atua, possibilitando teclas extras para as

⁴ cents = $\frac{1200}{\log 2} \times \log \left[\left(\frac{3}{2} \right)^{12} \div \left(\frac{2}{1} \right)^7 \right]$

⁵ É importante salientar que nesta seção entendemos que o termo “microtonal” faz referência à acústica musical, não tendo relação com nenhuma estética. Ou seja, entendemos que a microtonalidade é um meio para o desenvolvimento da afinação somente.

demandas de afinação. O instrumento foi descrito em seu *Harmonie universelle* (1636-37) e teve sua construção efetivada. Segundo Bibby, o instrumento foi executado por Händel nos Países Baixos (apud FAUVEL, FLOOD; WILSON, 2003: 23).

Em 1639, também nos Países Baixos, Joan Albert Ban desenvolve um teclado com 18 alturas, baseado nas teorias de Flogiano e Mersenne (LOY, 2006: 76). Com sua disposição de teclas partidas, este teclado permite a execução de tríades maiores e menores afinadas de forma justa (Fig. 3).

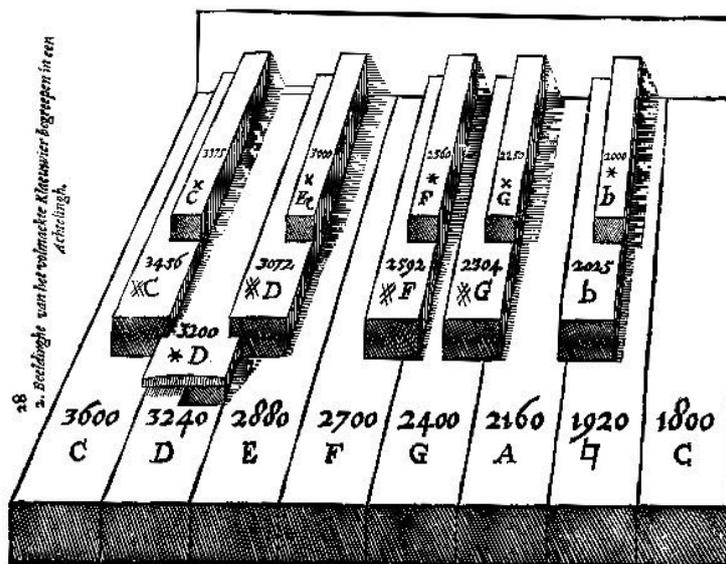


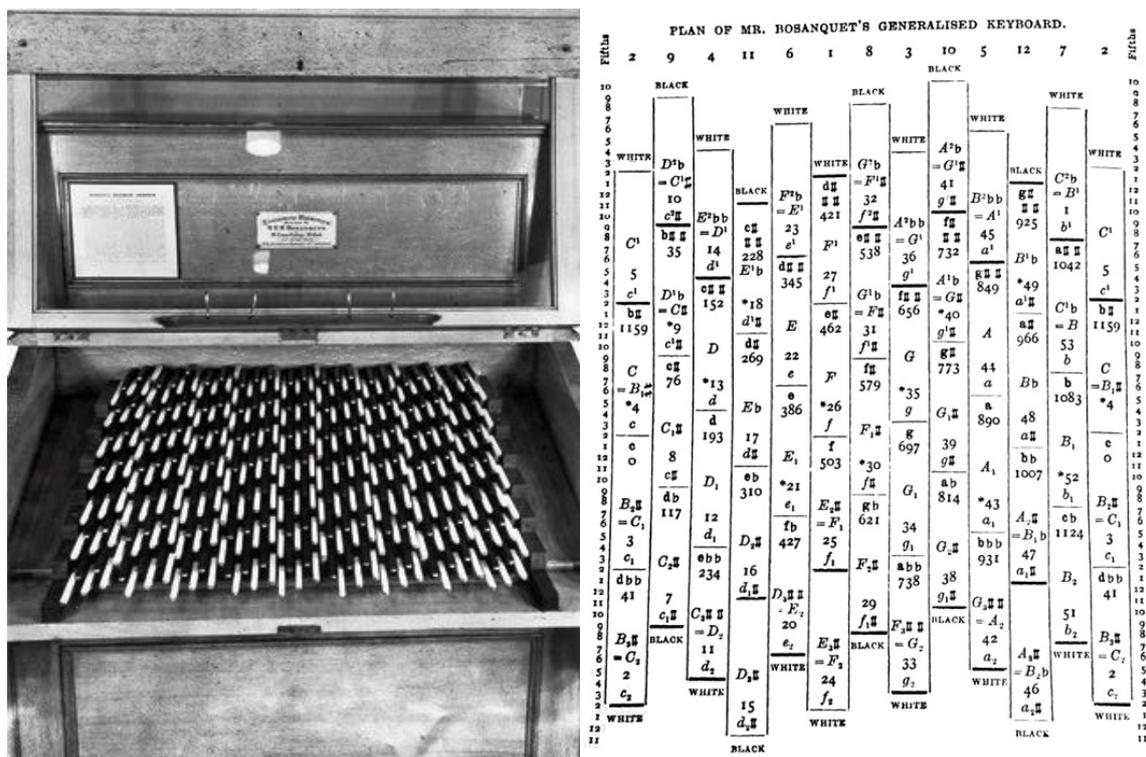
Fig. 3: Teclado desenvolvido por Joan Albert Ban (LOY, 2006: 76).

Apesar disso, Gareth Loy afirma que a prática de:

[...] adicionar microtons ao teclado provou ser um beco sem saída. Eles eram difíceis e temperamentais para construir e tocar, e nenhum esquema comum surgiu como um ponto de encontro. Teclados eletrônicos que se tornaram disponíveis no século XX ajudaram a reviver o interesse em escalas microtonais⁶ (LOY, 2006: 76, tradução nossa).

No século XIX, por volta de 1876, Robert Holford Macdowall Bosanquet, cientista e teórico britânico, desenvolveu um teclado com 53 divisões da oitava (Fig. 4).

⁶ “[...] adding microtones to the keyboard proved to be a dead end. They were difficult and temperamental to build and to play, and no common scheme emerged as a rallying point. Electronic keyboards that became available in the twentieth century helped revive interest in microtonal scales” (LOY, 2006: 76).



Figs. 4a e 4b: Harmonium de Bosanquet, construído por volta de 1876 (FOWLER apud FAUVEL; FLOOD; WILSON, 2003: 76. HELMHOLTZ, 1954: 480).

Este harmonium é descrito por Helmholtz (1954: 479) como um instrumento capaz de gerar um sistema de afinação fundamentado na afinação justa, mas com um incrível detalhamento. Além do impressionante número de subdivisões da oitava, este modelo de teclado nos chama a atenção pela memória digital herdada pelas escolas de instrumento de teclas. Nesse sentido, o próprio Bosanquet afirma que:

[o] ponto prático mais importante sobre o teclado surge da sua simetria; isto é, do fato de que cada tecla é cercada pela mesma disposição definida de teclas, e que um par de chaves em uma dada posição relativa corresponde sempre ao mesmo intervalo. Daí se segue que qualquer passagem, acorde ou combinação de qualquer tipo tem exatamente a mesma forma sob os dedos, em qualquer tecla que seja tocada⁷ (apud HELMHOLTZ, 1954: 479, tradução nossa).

No século XX⁸, em 1945 na University of Wisconsin, o compositor norte-americano Harry Partch (1901-1974) construiu um órgão chamado Chromelodeon I (Fig. 5).

⁷ “[t]he most important practical point about the keyboard arises from its symmetry; that is to say, from the fact that every key is surrounded by the same definite arrangement of keys, and that a pair of keys in a given relative position corresponds always to the same interval. From this it follows that any passage, chord, or combination of any kind, has exactly the same form under the fingers in whatever key it is played” (apud HELMHOLTZ, 1954: 479).

⁸ Apesar da importante contribuição para a música microtonal, não abordaremos o *Sonido 13* de Julián Carrillo (1875-1965) por se tratar mais de um tratado teórico musical do que necessariamente construção de novos instrumentos, que é nosso objeto de estudo.



Fig. 5: Chromelodeon I, instrumento de teclas criado por Harry Partch (COREY). Foto: © Steven Severinghaus.

Trata-se de “[...] um órgão de palheta adaptado que reproduz uma escala de 43 tons por oitava. Além de um teclado-padrão e uma coleção de registros de paradas, ele inclui um teclado adicional da criação do próprio Partch, chamado sub-baixo [...]”⁹ (COREY, tradução nossa). O instrumento é afinado em afinação justa e possui cerca de 5 oitavas. Em 1946, Partch iniciou os trabalhos para o Chromelodeon II, um piano de 88 teclas, mas que permanece incompleto. Todos os instrumentos de Harry Partch estão sob os cuidados de Charles Corey desde 2014, no então fundado Harry Partch Institute, na University of Washington.

Outra proposta mais recente é o Fluid Piano de Geoffrey Smith (1961-), um projeto também inclinado para solucionar o problema de afinação em teclados (Fig. 6).



Fig. 6: Detalhe do mecanismo deslizante no Fluid Piano (SMITH, 2019).

⁹ “[...] an adapted reed organ that plays a 43-tone per octave scale. In addition to a standard keyboard and a collection of stops, it includes an additional keyboard of Partch’s own creation called the sub-bass [...]” (COREY).

Trata-se de um instrumento de teclado com mecânica e afinação móvel, por meio de um dispositivo deslizante que permite afinar cada corda um semitom acima e abaixo. Segundo Geoffrey Smith:

[s]e você conseguir imaginar um piano acústico sem restrições de afinação, um instrumento verdadeiramente internacional que não se limita a uma afinação cultural específica e oferece uma imensa diversidade de escalas e modos de todo o mundo, bem como afinações individualizadas sob medida: um piano que inclusive lhe dá a liberdade de alterar a afinação durante a performance – ou simplesmente permanecer na afinação padrão “ocidental” (doze notas de temperamento igual), se assim o desejar –, então você está a meio caminho de imaginar o Fluid Piano¹⁰ (SMITH, 2019, tradução nossa).

Com exceção do Fluid Piano, todos os outros exemplos acima citados esbarram em um grande problema cultural, que é o ensino e a execução do instrumento, como apontado anteriormente por Gareth Loy. Ao se alterar a disposição da digitação do instrumento conforme cada sistema de afinação utilizado, torna-se inviável sua popularização, tanto no quesito performático (na memória digital do intérprete) quanto pedagógico (na divulgação de métodos de ensino e obras). Esse problema se agrava ao esbarrarmos na impressionante marca de 4.500 escalas e modos de afinação compilados por Manuel Op de Coul (2019), que veremos com mais detalhes a seguir. É evidente que se torna impraticável a construção de múltiplos teclados para cada sistema (ou grupos de sistemas) e ainda esperar da comunidade uma adesão coletiva. E é justamente neste ponto que o instrumental eletroacústico se apresenta como solução ideal para este problema.

Instrumentos microtonais eletroacústicos

Nesta seção investigaremos os instrumentos eletroacústicos¹¹ de tecla que possuem potencial para a execução de música microtonal. Segundo Griffiths (1987: 37), uma possível explicação para a marginalização de sistemas de afinação alternativos foi que os instrumentos tradicionais “[...] são feitos para tocar em semitons”. É importante também salientar que essa perspectiva impactou e consolidou o mercado (industrial) de instrumentos musicais acústicos, como é percebido hoje com marcas gigantes como Yamaha, ou mesmo em marcas mais específicas como Selmer (sax), Buffet Crampon (clarinete) ou mesmo Fender e Gibson (guitarra). Em direção contrária a esse movimento massificado, Nicole Gagné (2012: 174, tradução nossa) afirma que “[o] desejo de ouvir e executar afinações microtonais também levou muitos desses compositores a projetar e/ou construir novos instrumentos”¹². Griffiths concorda ao afirmar que

¹⁰ “If you can imagine an acoustic piano with no tuning restrictions, a truly international instrument that is not limited to one particular cultural tuning and offers an immense diversity of scales and modes from all around the world, as well as individual ‘bespoke’ tunings: a piano that even gives you the freedom to alter the tuning whilst playing – or simply to remain in standard ‘western’ tuning (twelve note equal temperament) should you wish – then you are half way to imagining The Fluid Piano” (SMITH, 2019).

¹¹ Entendemos aqui a palavra “eletroacústico” como um instrumento que depende de eletricidade e/ou alto-falante para sua execução.

¹² “The desire to hear and perform microtonal tunings also led many of these composers to design and/or build new instruments” (GAGNÉ, 2012: 174).

“[a] música microtonal só floresceria com o rompimento de todas as barreiras possibilitado pelos meios eletrônicos” (1987: 37).

Em seu tratado de 1907, *Sketch of a New Esthetic of Music*¹³, o compositor Ferruccio Busoni (1911) propõe uma divisão temperada de mais de 12 notas e o uso de instrumentos eletrônicos, reforçando que a música nasceu para ser livre. Apesar disso, houve grandes críticas à sua música, uma vez que não aplicou microtons nem instrumentos elétricos em suas próprias composições, tornando assim suas produções intelectual e artística incoerentes. Porém, para Schittenhelm (1997), devemos ter outra leitura sobre Busoni, pois, “[...] ao invés de ser considerado como um corpo de obras incoerente, a sua produção pode ser interpretada como sendo uma resposta específica a muitas das questões artísticas da sua época” (SCHITTENHELM, 1997). E, posteriormente, afirma que:

Um dos motivos para o papel periférico dado a Busoni em muitas histórias da música pode ser encontrado na maneira como historiadores musicais, herdeiros da ortodoxia modernista, tendiam a dar um maior valor aos estilos musicais cuja ênfase estava em linguagens musicais “progressivas”, que enfatizavam inovações técnicas e o desejo de romper com a música tradicional. Dessa forma, eles desconsideraram ou julgaram de forma inadequada outras formas de desenvolvimento musical que ainda estavam ancoradas em procedimentos composicionais estabelecidos, o que resultou em que uma considerável parte da produção musical deste século não recebeu os mesmos estudos e análises sérios que foram dados a obras baseadas em, por exemplo, procedimentos seriais. Isso produziu uma avaliação insatisfatória dos desenvolvimentos artísticos na primeira parte do séc. XX (SCHITTENHELM, 1997.).

Por este motivo, Busoni, assim como Alois Hába, Ivan Wyschnegradsky, Julián Carrillo, entre outros, não obteve o mesmo destaque histórico que Schoenberg ou Webern. Mesmo que Hába e Wyschnegradsky tenham uma maior importância como teóricos do que como compositores, sua produção intelectual também não é amplamente discutida, talvez inclusive pelo caráter inovador de suas propostas. Vemos em suas peças características controversas, como uma expansão do sistema temperado dentro de uma música, formalmente considerando, ainda muito tradicional. Dessa maneira, a incoerência harmônica apontada por Werntz (2001) talvez possa ser a principal questão pela falta de destaque no âmbito histórico. Porém, é preciso cuidado para não generalizar, pois é possível encontrar peças como *Etude sur le mouvements rotatoires* (1961), de Wyschnegradsky, que estão longe de ser incoerentes.

Busoni ainda cita em seu artigo o Telharmonium¹⁴ (1906-1907), um instrumento considerado por muitos como o primeiro sintetizador elétrico, no qual “[...] o som era produzido passando a corrente de um dínamo de corrente alternada (de construção especial)

¹³ Por meio deste artigo, Edgar Varèse conheceu Busoni. Mais tarde, tornaram-se amigos. Muitas das ideias de Varèse foram influenciadas por este compositor italiano.

¹⁴ Segundo Weidenaar (1995 apud ROADS, 2015: 204), este instrumento poderia tocar 36 divisões de oitava, pois ele tinha três teclados temperados afinados diferentes, um no sistema temperado com afinação padrão, outro mais acima e o terceiro abaixo do primeiro.

para um receptor de telefone ao qual estava ligado uma corneta amplificada”¹⁵ (PIERCE, 1924: 327, tradução nossa). Segundo Davies (2001: 619), Busoni influenciou o inventor Thaddeus Cahill a idealizar uma segunda versão do Telharmonium contendo 36 notas por oitava afinadas em Afinação Justa, através das quais era possível executar um acorde de sétima em temperamento igual, com terças em Afinação Justa e com terças e as sétimas em Afinação Justa (PIERCE, 1924: 329), de forma a permitir a execução de obras microtonais. Pierce expõe em seu artigo (1924: 329) seus experimentos microtonais bem-sucedidos no Telharmonium, manifestando suas experimentações (transcrições) com obras para coral, tanto quanto com uma transcrição do *Trio em Dó Maior* de Beethoven, originalmente para madeiras¹⁶. Sendo assim, percebe-se que “[...] o Telharmonium, Thereminvox, Ondes Martenot e Trautonium encorajaram novas abordagens para alturas. Poderíamos continuar a rastrear toda a história dos instrumentos de música eletrônica microtonal, mas isso seria algo tangente. Nosso ponto aqui é simplesmente mostrar que, desde o surgimento da música eletrônica, o potencial de recursos alturas expandidas já era reconhecido”¹⁷ (ROADS, 2015: 204, tradução nossa).

Analisando o Telharmonium, assim como os instrumentos de Robert Moog, Jon Appleton afirma:

Ainda outro objetivo dos inventores tem sido acomodar um interesse de compositores em afinações incomuns, incluindo o uso de microtons. O famoso Telharmonium de Thaddeus Cahill, inventado em 1907, tinha trinta e seis notas para a oitava em afinação justa. [...] Em meados da década de 1960, Robert A. Moog construiu três teclados eletrônicos microtonais¹⁸ (APPLETON, 1989: 15, tradução nossa).

Além de Busoni e dos demais pioneiros da música eletrônica, destacamos as contribuições do compositor e construtor alemão Jörg Mager, que desde 1911 tinha grande interesse na construção de instrumentos musicais. Após o órgão de sua igreja desafinar por conta de uma forte onda de calor, intrigou-se com a harmonia microtonal gerada pelo instrumento (PATTESON, 2016: 54). Posteriormente à realização de alguns experimentos, encomendou um órgão em quartos de tons tendo dois teclados no sistema temperado, sendo que o manual superior era afinado um quarto de tom acima. Segundo Glinsky (2000: 53), este órgão inspirou

¹⁵ “[...] musical tone was produced by passing the current from an alternating-current dynamo (of special construction) into a telephone receiver to which was attached an amplifying horn” (PIERCE, 1924: 327).

¹⁶ Entretanto, é interessante observar a infeliz conclusão de seu artigo, em que, apesar de demonstrar ser totalmente possível criar um instrumento microtonal – e verificado o potencial de precisão obtida com a execução de Afinação Justa –, afirma que seu uso é desnecessário, porque toda música moderna é escrita em escala temperada e só possui potencial no ambiente sacro, com coro a capela.

¹⁷ “[...] the Telharmonium, Thereminvox, Ondes Martenot, and Trautonium encouraged new approaches to pitch. We could continue to trace the entire history of microtonal electronic music instruments, but this would be something of a tangent. Our point here is simply to show that from the dawn of electronic music, the potential for expanded pitch resources was already recognized” (ROADS, 2015: 204).

¹⁸ “Still another goal of inventors has been to accommodate an interest of composers in unusual tunings, including the use of microtones. The famous Telharmonium of Thaddeus Cahill, invented in 1907, had thirty-six notes to the octave in just intonation. [...] In the mid-1960s Robert A. Moog constructed three microtonal electronic keyboards” (APPLETON, 1989: 15).

todos os seus instrumentos elétricos posteriores, como o Electrophon (1921), que mais tarde foi chamado de Spherophone (1924) (PATTESON, 2016: 65) (Fig. 7).



Fig. 7: Spherophone (PATTESON, 2016: 67).

Este instrumento obteve grande atenção, inclusive de renomados compositores, como Paul Hindemith, que afirmou “[...] que o Spherophone ainda estava em um estágio inicial de desenvolvimento, mas o declarou como ‘a invenção mais revolucionária no campo de instrumentos musicais’ e expressou sua ânsia de compor para ele”¹⁹ (PATTESON, 2016: 52, tradução nossa). Além disso, segundo Stange-Elbe (1994, tradução nossa), “Haba, Wischnegradsky e Georg Rimsky-Korssakoff provavelmente se ofereceram para escrever peças para o Sphärophon”²⁰. O Spherophone se demonstrou muito apropriado para os compositores acima, pois todos já usavam sistemas de quartos de tom. Infelizmente os instrumentos de Jorg Mager foram totalmente destruídos durante a Segunda Guerra Mundial (GAGNÉ, 2012: 166).

Enquanto Jörg Mager expandiu seu instrumento para um sistema em quartos de tom, Friedrich Trautwein, com seu Trautonium, ampliou para o que Patteson chamou de “espaço tonal contínuo”²¹ (2016: 118, tradução nossa) (Fig. 8).

¹⁹ “Paul Hindemith noted that the Spherophone was still in an early stage of development but declared it ‘the most revolutionary invention in the field of musical instruments’ and expressed his eagerness to compose for it” (PATTESON, 2016: 52).

²⁰ “Haba, Wischnegradsky und Georg Rimsky-Korssakoff hatten sich wohl angeboten, Stücke für das Sphärophon zu schreiben” (STANGE-ELBE, 1994).

²¹ “Trautwein’s instrument captured “continuous tonal space” and put it at the player’s disposal” (TRAUTWEIN, 2016: 118).



Fig. 8: Trautwein com seu primeiro modelo de Trautonium (ca. 1930) (PATTESON, 2016: 118).

Assim como muitos outros instrumentos com certo aspecto experimental, o uso do Trautonium se consolidou dentro do sistema temperado, deixando todo potencial microtonal apenas para execução de vibratos, em grande parte dos casos. O uso limitado ao temperamento é exemplificado na peça *Langsames Stück und Rondo für Trautonium* (1935), de Paul Hindemith – ou ainda em seu *7 Trio Pieces For 3 Trautoniums* –, assim como *Konzert Nr. 1 für Trautonium und Orchester* (1940), *Scherzo für Mixtur-Trautonium und Klavier* (1949) e *Konzert Nr. 2 für Mixtur-Trautonium und Orchester* (1952), de Harald Genzmer (1909-2007).

De forma similar, Oskar Sala desenvolve na década de 1930 o Mixturtrautonium na Alemanha, em que incorpora ao instrumento um interruptor para mudança de afinação. Este instrumento ainda é fabricado na atualidade pela Trautoniks (Fig. 9), assim como pela Doepfer, empresa alemã de módulos formato Eurorack.



Fig. 9: Mixturtrautonium fabricado na atualidade pela Trautoniks (HILLER, 2012).

Diferentemente dos dois instrumentos anteriores, Maurice Martenot (1898-1980) criou o Ondes Martenot justamente para reproduzir sons microtonais da música hindu – aparentemente, um dos poucos instrumentos com este objetivo. No mesmo ano de sua invenção (1928), foi estreada a obra *Symphonic poem for solo ondes musicales and orchestra*, de Dimitri Levidi. Segundo Holmes (2008: 25), esta foi a primeira peça a usar elementos microtonais no Ondes Martenot (quartos e oitavos de tom). O instrumento atingiu popularidade ao ser incorporado no leque instrumental de renomados compositores, como Olivier Messiaen em sua *Turangalila-Symphonie* (1949) e com Edgard Varèse em *Amériques* (1918–1921; revisada em 1927) e *Ecuatorial* (1932–1934; revisada em 1961 para inclusão de ondes-martenots).

Nas décadas seguintes, mais especificamente nos anos 1940, temos a invenção do Melochord (1947), desenvolvido pelo alemão Harald Bode, que impactou no desenvolvimento da *elektronische Musik* na Alemanha. Segundo Gagné:

Trabalhando com um instrumento eletrônico chamado melochord, os compositores Herbert Eimert e Robert Beyer e o físico Werner Meyer-Eppler começaram a criar o que eles chamaram de música eletrônica. Depois de ser transmitido pela WDR em 1951, eles formaram um estúdio para buscar a síntese elétrica do som; Karlheinz Stockhausen tornou-se um colaborador permanente em 1953 e depois atuou como diretor artístico e consultor artístico²² (GAGNÉ, 2012: 88, tradução nossa).

Segundo o próprio Harald Bode em uma entrevista para a *SYNE Magazine* em 1980 (CRAB), o Melochord foi inicialmente um instrumento de uso particular, mas outro exemplar foi encomendado para o estúdio de Música Eletrônica de Colônia e, depois, mais um para a *Nordwestdeutscher Rundfunk* (sistema de transmissão de rádio do noroeste da Alemanha). Inicialmente, o Melochord foi também objeto de estudo de Meyer-Eppler em Bonn, inclusive como parte de sua palestra em 1951 nos cursos de verão em Darmstadt. Sabe-se também que este instrumento possuía capacidade para execução microtonal, pois seu “[t]eclado usava tons derivados da tradicional escala de 12 notas de temperamento igual com interruptores que estendem a extensão de 37 notas de três oitavas a sete”²³ (CRAB, tradução nossa). Apesar disso, o próprio Stockhausen não fez uso deste instrumento para suas obras *Studie I* e *Studie II*, por preferir o som puro gerado por ondas senoidais. Apesar do caráter experimental, o instrumento foi utilizado em estúdio por compositores como Herbert Eimert, Robert Beyer, Karel Goeyvaerts, György Ligeti, Henri Posseur, Karlheinz Stockhausen, entre outros (CRAB).

A década de 1950 foi crucial para a história da música eletroacústica, assim como para a construção de novos instrumentos. Dentro do recorte desta pesquisa, dois fatos importantes se destacam neste período: o desenvolvimento do primeiro software de síntese sonora e a fabricação do primeiro sintetizador analógico com transistores. Em 1957, Max Mathews desenvolve o software MUSIC I (CHADABE, 1997: 109), que, em comparação com os problemas

²² “Working with an electronic instrument called a melochord, composers Herbert Eimert and Robert Beyer and physicist Werner Meyer-Eppler began creating what they called elektronischen Musik. After it was broadcast by the WDR in 1951, they formed a studio to pursue the electrical synthesis of sound; Karlheinz Stockhausen became a permanent collaborator in 1953 and later served as artistic director and artistic consultant” (GAGNÉ, 2012: 88).

²³ “The keyboard used pitches derived from the traditional equal-tempered 12 note scale with switches extending the 37 note range from three octaves to seven” (CRAB).

de afinação dos instrumentos elétricos já abordados, este sistema digital possibilitava o controle absoluto de frequências, dentre inúmeras outras características. Já na esfera analógica do fim da década de 1950, Harald Bode foi o pioneiro na aplicação de transistores na síntese musical, o que contribuiu futuramente na invenção dos sintetizadores modulares de tensão controlada; definitivamente uma forte influência para Paul Ketoff, Robert Moog e Donald Buchla na década de 1960 (MANNING, 2013: 101). Como consequência, a década de 1960 trouxe inúmeras contribuições para instrumentos de teclas elétricos – sintetizadores modulares – com o potencial para a execução microtonal. Em 1964 temos o Synket criado por Paolo Ketoff (SWIFT, 2001: 851), que teve peças escritas por John Eaton²⁴, Jerome Rosen e William O. Smith (SWIFT, 2001: 851). No mesmo ano, Robert Moog²⁵ distribui seu primeiro sintetizador modular (KETTLEWELL, 2002: 111), assim como três instrumentos microtonais, um com 43 notas por oitava, outro com 31 notas para a oitava com o total de 479 chaves para uma gama de sete oitavas, e um terceiro com 137 teclas (DAVIES, 2001: 621). Em 1966, Donald Buchla funda a empresa que leva seu nome e distribui seu primeiro sistema modular (CHADABE, 1997: 147). Interessante ressaltar que Buchla não se preocupava em replicar o sistema mecânico (ou a sensação mecânica) das teclas de um piano. Seus sintetizadores já incorporavam o sistema de *touch keys* (teclas sensíveis ao toque, sem necessariamente pressionar um mecanismo de peso). Isso acarretou na década de 1990 no sistema Thunder, no qual distribui as “teclas” no formato anatômico das mãos, mapeando posicionamento além de pressão (Fig. 10).



Fig. 10: Buchla Music Easel e Buchla Easel-K (baseados no modelo de 1973) (BUCHLA, 2019).

Nos anos 1970 temos cinco outros instrumentos de tecla que permitiram a execução em contextos microtonais. O Arcifoon (1971), construído por Herman van der Horst nos Países Baixos, foi desenvolvido com o sistema de 31 notas por oitava de Adrian Fokker e é considerado por Davies (2001: 622) como a evolução do órgão de 31 notas por oitava de Fokker que ainda pode ser encontrado no Museu Teyler nos Países Baixos. Neste mesmo ano, Ivor Darreg desenvolve o Megapsalterion, um instrumento amplificado e concedido para execução de

²⁴ Seu *Concert Piece For Syn-Ket And Symphony Orchestra* (1966) pode ser ouvido em: <<https://soundcloud.com/johneatoncomposer/concert-piece-for-syn-ket-and>>. Acesso em: 23 mar. 2019.

²⁵ La Monte Young usou sintetizadores Moog para tocar obras em *Afinação Justa*, assim como Terry Riley usou um órgão eletrônico da Yamaha (DAVIES, 2001).

harmônicos naturais (JEDRZEJEWSKI, 2014: 116). Em 1974 temos o Scalatron, um órgão de 31 notas por oitava desenvolvido por George Secor (JEDRZEJEWSKI, 2014: 194), em que cada nota podia ser afinada independentemente. Já o Ekmelische Orgel, criado por Franz Richter Herf com a ajuda de Rolf Maedel, possuía manuais de 84 notas. Segundo Davies (2001: 621), suas afinações podiam chegar a 72 divisões por oitava. Finalmente, temos o Synclavier, desenvolvido em 1978 pela New England Digital Corporation sob supervisão do compositor Jon Appleton. O Synclavier fazia uso de síntese digital FM e ficou conhecido como um dos instrumentos de maior impacto comercial. O Synclavier contou com usuários como Chick Corea, Joel Chadabe, Frank Zappa, Michael Jackson, assim como bandas como Depeche Mode, Genesis, Duran Duran, Kraftwerk, entre outros.

Nas décadas de 1980 e 1990, apesar de alguns belos instrumentos, como o Samsom Box ou mesmo a incorporação do protocolo MIDI nos sintetizadores, muito do desenvolvimento futuro se deu em ambientes virtuais, ou software. Nos anos 1990 temos a comercialização do Martenot 91, que é uma versão digitalizada do Martenot, possibilitando a execução de até 112 avos de tom (JEDRZEJEWSKI, 2014: 329). É também desta época o desenvolvimento dos softwares Csound (1985), Max (1985-88), Pure Data (1996) e SuperCollider (1996), todos em pleno uso na atualidade e todos com inúmeros recursos para a execução microtonal, seja com instrumentos de tecla (via controladores MIDI) ou mesmo com qualquer tecnologia-interface. Temos ainda o surgimento de empresas como Arturia e Ableton, que focaram na simulação de instrumentos eletroacústicos em ambiente software, tendendo para uma comercialização e popularização desses instrumentos experimentais.

Sendo assim, após o período de transição que foi a década de 1980, encontramos na década de 1990 talvez o ambiente ideal para a execução de música microtonal: software em computadores portáteis/de uso pessoal. Na década de 1990, Manuel Op de Coul desenvolve o impressionante Scala, um software-biblioteca com a gigantesca marca de aproximadamente 4.500 sistemas de afinação em sua base, como afinações históricas, étnicas, experimentais, teóricas etc. (Fig. 11).

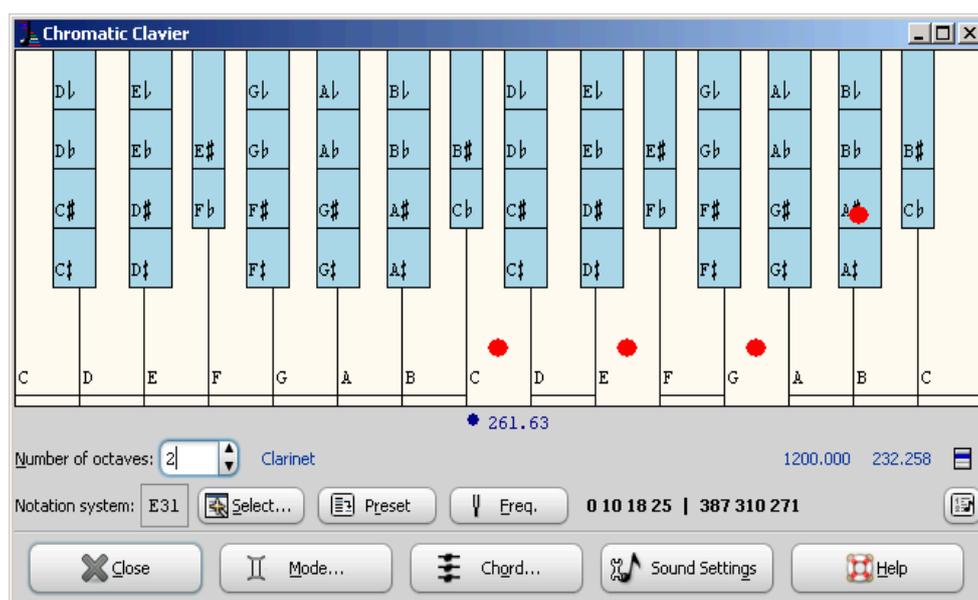


Fig. 11: Tela do software Scala, com uma afinação de quartos de tom (DE COUL, 2019).

Com essa incrível possibilidade, o layout físico de teclas pretas e brancas se tornou, naturalmente, um problema. A vantagem em relação aos teclados físicos inventados por Marin Mersenne e Joan Albert Ban no século XVII, ou mesmo com o Fluid Piano de Geoffrey Smith, é que um sistema digital permite a reconfiguração instantânea de qualquer afinação. Pensando nisso, e buscando ir de encontro com toda cultura de teclas, o inventor Aaron Andrew Hunt retorna à ideia do instrumento físico com seu teclado microtonal Tonal Plexus (Fig. 12).



Fig. 12: Tonal Plexus (H-PI INSTRUMENTS).

Este instrumento combina em um ambiente anatômico de teclas a execução de pequenos degraus de escala junto com um software para gerenciar as afinações. O instrumento é construído à mão desde 2006 por Hunt e pode ser incorporado a outros softwares de timbre. Paralelamente, verificamos interesses semelhantes com os norte-americanos da Critter & Guitari²⁶, fabricante do sintetizador Organelle que apresenta em seu núcleo o software Pure Data.

Reflexões e considerações finais

É notável a presença do universo das teclas dentro da cultura ocidental musical. Dentro do nosso objeto de pesquisa, verificamos que muitos devaneios da luteria e da teoria musical impactaram em novos instrumentos de tecla. Desde os experimentos com o Telharmonium, passando pelos instrumentos de Friedrich Trautwein e Jörg Mager, Harald Bode com seu Melochord e o início da cultura de sintetizadores modulares como os Synket, Moog e Buchla, assim como os primeiros sintetizadores digitais como o Synclavier, nota-se a árdua tarefa de suprir a demanda artística com instrumental compatível. O oposto é verdade também: muitas aventuras composicionais só aconteceram motivadas pelo instrumental experimental e inspirador. O que nos mantém perplexos, porém, é a íntima rede, muitas vezes de natureza conservadora, entre a cultura de teclados e a cultura de afinações.

Estes fatos históricos nos fazem questionar o porquê de todos esses instrumentos não terem sido mais explorados microtonalmente. Por que a prática de performance desses instrumentos recaiu na tradição de outros instrumentos, como por exemplo na transcrição de

²⁶ Disponível em: <<https://www.critterandguitari.com/>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

obras para violino no caso do Theremin, ou mesmo de obras de J. S. Bach para o Trautonium e para o Moog? Podemos concluir a partir desta pesquisa que muitos dos instrumentos elétricos microtonais foram inicialmente utilizados para a execução de músicas tradicionais, talvez na busca de chancela da comunidade especializada para consolidação enquanto instrumento musical. Além disso, boa parte desse instrumental não atingiu as massas – excetuando-se talvez o Synclavier. Muitos são desconhecidos do público e dos compositores e, por razões logísticas, se limitavam à posse dos pesquisadores envolvidos em suas invenções, chegando a nós somente por meio de bibliografia especializada, o que se confirma pelos poucos relatos sobreviventes e peças elaboradas para esses instrumentos.

Percebemos a partir da década de 1950 a emergência de uma diversidade de instrumentos elétricos para compor e executar obras com estruturas microtonais. Vemos em Jedrzejewski (2014: 257) que estes novos instrumentos tiveram uma boa aceitação entre os compositores, mas infelizmente o seu uso foi voltado principalmente para obras no contexto do temperamento de doze divisões iguais da oitava, como vemos em compositores como Paul Hindemith. Da mesma forma, percebemos que boa parte da literatura sobre música eletrônica não se concentra, ou mesmo omite, o potencial microtonal de instrumentos como o Melochord, o Mixturtrautonium, entre outros. Nesse sentido, nos perguntamos o porquê da música microtonal não ter rompido com a tradição do temperamento igual dentro do universo da música eletroacústica, ambiente este propício para este tipo de música. Uma primeira razão que verificamos foi baseada em Roads (2015: 206), que afirma que na década de 1950 nem todos os osciladores eram precisos, e, por isso, apenas curtos estudos musicais foram escritos. Naturalmente, isso era um impedimento, mas que poderia ser contornado com o suporte de mídias fixas. Nesse mesmo período, por exemplo, a prática de *Tape Music* no estúdio de Colônia, fundado em 1951, permitiu a prática de música microtonal. Verificamos uso de diversas afinações nas obras de Stockhausen, como em sistema temperado em *Studie II* (1954) com 25 divisões da oitava e *Gesang der Jünglinge* (1955-1956), que utiliza “60 divisões da oitava como material vocal e 42 com sons eletrônicos”²⁷ (DAVIES, 2001: 622, tradução nossa). Então, de certa forma, o problema latente da afinação e dos instrumentos de tecla poderia ser parcialmente sanado pela incorporação dos artifícios da *Tape Music*.

Outro grande problema levantado por nosso estudo foi lidar com a própria definição do termo microtonalidade, tanto do ponto de vista cultural quanto técnico. Na música eletroacústica há inúmeras possibilidades para gerar harmonias, espectros ou simplesmente relações de alturas, como é o caso das técnicas de modulação por frequência (FM), por amplitude (AM) e modulação por anel. Sabemos que tais técnicas geram estruturas complexas, com alturas fora do sistema temperado. Perguntamo-nos: isso se qualifica como característica de uma obra microtonal? Durante a década de 1970, os spectralistas franceses buscaram na música eletroacústica inspiração para recontextualizar o entendimento de harmonia. Foi justamente nas técnicas de modulação por anel, frequência e amplitude que novas estruturas e campos harmônicos foram criados. Com base nisso tudo, nos debruçamos em uma infinidade de questionamentos, tais como: o que é música microtonal? Devemos ainda usar este termo? Como a música microtonal se desenvolve no ambiente eletroacústico? Toda música que apresenta algum som que não tem altura correspondente ao sistema temperado igual pode ser considerada uma obra microtonal? Como classificamos o conceito de timbre dentro dos conceitos de microtonalidade? Diante desses diversos questionamentos, salientamos a seguinte afirmação de Roads: “[as] harmonias

²⁷ “60 divisions of the octave with vocal material and 42 with electronic sounds” (DAVIES, 2001: 622).

microtonais podem se tornar tão complexas que elas se transformam em timbre e textura. Com tantas peças em afinação livre, está claro que [o parâmetro da] altura nem sempre precisa estar alinhado com a grade de uma escala ou intonação fixas”²⁸ (ROADS, 2015: 237, tradução nossa).

Jon Appleton, por sua vez, afirma ao trabalhar com o Synclavier que:

A verdadeira questão com a música desse tipo [microtonal] não são as características do instrumento, mas sim a percepção: os ouvintes podem repentinamente, sem treinamento, ouvir um novo conjunto de alturas e suas interrelações, ou ouvem a música como “desafinações” colorísticas? ²⁹ (APPLETON, 1989: 16, tradução nossa).

Adicionalmente, Curtis Roads complementa que:

[...] a partir de uma perspectiva funcional, o tom [altura] não é mais o determinante dominante na organização musical; ele compartilha o palco com outros parâmetros musicais e pode desempenhar papéis subordinados. Como Paul Lansky [...] [apud ROADS, 2015] supôs: “Contar histórias de tons complicados é algo que os performers [de instrumentais tradicionais] fazem bem, enquanto as máquinas têm capacidade de criar mundos e paisagens que têm agendas bem diferentes”. Em geral, o conceito de tom é muito ampliado na música eletrônica por sua aplicação nos contextos de escalas microtonais, no contínuo tom-ruído, no continuum harmonia-timbre e nas combinações politonal e poliescalar³⁰ (ROADS, 2015: 237, tradução nossa).

Na década de 1980 e 1990, percebe-se a inclusão de diversas bibliotecas de afinações históricas em sintetizadores e pianos digitais da Roland, Yamaha e Korg – os principais fabricantes de teclados. Já a partir dos anos 2000, percebemos uma inclinação por revisitar o desconhecido e experimental, um interesse pela mudança dos paradigmas culturais: o gosto pelo personalizado, pelo modular e pelo DIY (*do it yourself*/faça você mesmo). Várias tecnologias estão surgindo e contribuindo para democratizar o acesso a outras formas de afinações alternativas. Exemplo disto é o μ Tune da Tubbutec, módulo em formato Eurorack³¹ que transforma qualquer controlador

²⁸ “Microtonal harmonies can become so complex that they mutate into timbre and texture. With so many pieces in free intonation, it is clear that pitch need not always be aligned to the grid of a fixed scale or intonation” (ROADS, 2015: 237).

²⁹ “The real issue with music of this kind is not the characteristics of the instrument but rather a perceptual one: Can listeners suddenly, without training, hear a new set of pitches and their interrelationships, or do they hear the music as coloristic ‘mistunings?’” (APPLETON, 1989: 16).

³⁰ “[...] from a functional perspective, pitch is no longer the dominant determinant in musical organization; it shares the stage with other musical parameters and can play subordinate roles. As Paul Lansky [...] [apud ROADS, 2015] surmised: ‘Telling complicated pitch stories is something that [traditional instrumental] performers do well, while machines have capabilities to create worlds and landscapes that have quite different agendas’. In general, the concept of pitch is much enlarged in electronic music by its application in the contexts of micro tonal scales, the pitch-noise continuum, the harmony-timbre continuum, and polytonal and polyscalar combinations” (ROADS, 2015: 237).

³¹ Formato de módulo desenvolvido pela Doepfer. Possui altura de 3U (ou 3RU, rack unit, com 44.5 mm ou 1.752 polegadas) e largura de múltiplos de 2HP (horizontal pitch = 5.08mm ou 0.2 polegadas). Os módulos são conectados com cabos mono com plugue de 3.5 mm.

MIDI em um instrumento capacitado para executar inúmeras afinações alternativas oriundas do software Scala. Importante afirmar que o μ Tune pode enviar essas informações tanto para algum sistema digital (computador) quanto de volta ao mundo dos sintetizadores analógicos, resolvendo assim o problema homérico de afinação enfrentado pelos *luthiers* da primeira metade do século XX. Ainda no mundo dos sintetizadores modulares de tipo Eurorack, temos também o fabricante alemão Doepfer, que torna extremamente acessível a aquisição de um sistema Trautonium, assim como o fabricante Make Noise na construção do módulo Telharmonic (em parceria com Tom Erbe), que simula o Telharmonium original.

Por ora, acreditamos que o universo das múltiplas afinações está cada vez mais próximo do mundo físico e tradicional das teclas, assim como no reencontro com a tecnologia de síntese analógica. É verdade que o design de distribuição de teclas pretas e brancas teve um impacto cultural imenso na música, quase que impossível de se afastar dele e criando uma inércia contra seu próprio desenvolvimento, sendo Donald Buchla talvez um dos únicos inventores que verdadeiramente questionou o design e anatomia das teclas, introduzindo seu sistema Thunder.

Frisamos, portanto, que a questão do uso e da aceitação da microtonalidade não recai somente no mundo da luteria de instrumentos ou do circuito de música nova. Muito pelo contrário, hoje, com toda as virtudes do instrumental tanto analógico quanto digital, o fator perceptivo se revela, no final, como o grande obstáculo para os músicos e para o público na interação com a música microtonal. Não se trata simplesmente de quebrar um ciclo cultural, no caso com a afinação temperada. Algo que pudemos aprender com experiências do passado é que a ideia de afinação enquanto cultura é demasiadamente forte. Consequentemente, é necessário investir esforços na expansão do conceito de afinação e consonância. Enquanto não alterarmos a noção de microtonalidade como mero adorno exótico, sempre haverá resistência no plano perceptivo e, consequentemente, na prática de construção de instrumentos musicais.

Referências

APPLETON, Jon. *21st-Century Musical Instruments: Hardware and Software*. New York: Institute for Studies in American Music, 1989.

BUCHLA. *Buchla USA*, 2019. Disponível em: <<https://buchla.com/>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

BUSONI, Ferruccio. *Sketch of a New Esthetic of Music*. New York: G. Schirmer, 1911.

CHADABE, Joel. *Electric Sound: The Past and Promise of Electronic Music*. New Jersey: Prentice-Hall, 1997.

COREY, Charles. *Harry Partch*. Disponível em: <<https://www.harrypartch.com/>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

CRAB, Simon. *120 Years of Electronic Music: The History of Electronic Music from 1800 to 2015 (Melochord)*. Disponível em: <<http://120years.net/the-melochordharald-bodegermany1947/>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

DAVIES, Hugh. *Microtonal Instruments*. In: SADIE, Stanley (Ed.). *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*. v. XVI. New York: Madison Avenue, 2001. p. 617-624.

DE COUL, Manuel Op. *SCALA Home Page*. Disponível em: <<http://www.huygens-fokker.org/scala/>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

FAUVEL, John; FLOOD, Raymond; WILSON, Robin (Eds.). *Music and Mathematics - From Pythagoras to Fractals*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

GAGNÉ, Nicole V. *Historical Dictionary of Modern and Contemporary Classical Music*. Lanhan: Scarecrow Press, 2012.

GARLAND, Trudi Hammel; KAHN, Charity Vaughan. *Math and Music: Harmonious Connections*. Palo Alto: Dale Seymour Publications, 1995.

GLINSKY, Albert. *Theremin: Ether Music and Espionage*. Urbana: Board of Trustees of the University of Illinois, 2000.

GRIFFITHS, Paul. *A música moderna: uma história concisa e ilustrada de Debussy a Boulez*. Rio de Janeiro: Zahar, 1987.

H-PI INSTRUMENTS. Tonal Plexus. Disponível em: <<https://hpi.zentral.zone/tonalplexus>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

HELMHOLTZ, Hermann. *On the sensations of tone*. Mineola, NY: Dover Publications, 1954.

HILLER, Jürgen. *Trautoniks*. 2012. Disponível em: <<http://trautoniks.de/com/index.html>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

HOLMES, Thon. *Electronic and Experimental Music: Technology, Music and Culture*. 3. ed. New York: Routledge, 2008.

JEDRZEJEWSKI, Franck. *Dictionnaire des musiques microtonales (1892-2013)*. Paris: Editions L'Harmattan, 2014.

_____. *Mathématiques des systèmes acoustiques: tempéraments et modèles contemporains*. Paris: Editions L'Harmattan, 2002.

KETTLEWELL, Ben. *Electronic Music Pioneers*. Vallejo: Pro Music Press, 2002.

LOY, Gareth. *Musimathics: The Mathematical Foundations of Music*. Cambridge: MIT Press, 2006.

MANNING, Peter. *Electronic and Computer Music*. 4. ed. New York: Library of Congress Cataloging in Publication Data, 2013.

PATTESON, Thomas. *Instruments for New Music: Sound, Technology, and Modernism*. Oakland: University of California Press, 2016.

PIERCE, Edwin Hall. A Colossal Experiment in "Just Intonation". *The Musical Quarterly*, Oxford University Press, v. 10, n. 3, p. 326-332. jun. 1924.

ROADS, Curtis. *Composing Electronic Music: A New Aesthetic*. New York: Oxford University Press, 2015.

SCHITTENHELM, Vânia. A perigosa questão da música moderna na controvérsia entre Busoni e Pfitzner. *Revista Eletrônica de Musicologia*, UFPR, v. 2.1, 1997.

SMITH, Geoffrey. *The Fluid Piano*. Disponível em: <<http://www.thefluidpiano.com/>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

STANGE-ELBE, Joachim. Elektrische Musikinstrumente: ein historischer Rückblick mit zeitgenössischen Dokumenten. *ZeM Mitteilungsheft*, n. 14, apr. 1994.

SWIFT, Richard. Synket. In: SADIE, Stanley (Ed.). *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, v. XXIV. New York: Madison Avenue, 2001. p. 851.

WERNTZ, Julia. Adding Pitches: Some New Thoughts, Ten Years after Perspectives of New Music's "Forum: Microtonality Today". *Perspectives of New Music*, v. 39, n. 2, p. 159-210, 2001.

Esta pesquisa contou com o apoio de:

Unterstützt von / Supported by



Alexander von Humboldt
Stiftung/Foundation



.....

Charles Klippel Neimog, natural do interior do Espírito Santo, é mestrando em Interartes e Música pela UFJF, orientado pelo Prof. Dr. Luiz Castelões. Desenvolve pesquisa sobre as teorias de afinação de Harry Partch e Ben Johnston propondo organizá-las a partir das teorias de Iannis Xenakis no ambiente do OpenMusic. É bacharel em Composição e Regência pela Escola de Música e Belas Artes do Paraná (2018) e tem curso em Liderança Comunitária com Ênfase em Música pela Associação Diacônica Luterana (2014). É membro do Grupo de Pesquisa Núcleo Música Nova (CNPq), desenvolve pesquisa com ênfase em afinações alternativas, espaço sonoro (Piana, 2001), psicoacústica, matemática e música e composição assistida por computador (CAC). Atua nas áreas de composição, música eletroacústica e musicologia. charles.neimog@outlook.com

Felipe de Almeida Ribeiro é doutor em Composição Musical (Ph.D.) pela State University of New York at Buffalo (Estados Unidos), onde estudou composição e computação musical sob a orientação de Cort Lippe. É mestre pela University of Victoria (Canadá), estudando composição com Dániel Péter Biró e Gordon Mumma, além de computação musical com Andrew Schloss. Sua música tem sido executada e premiada em festivais e salas de concerto nos Estados Unidos, Canadá, Espanha, Alemanha, Hungria, Brasil, Inglaterra, México, Argentina. Atualmente é professor adjunto C na Universidade Estadual do Paraná e realiza estágio de pós-doutorado com bolsa da Alexander von Humboldt Stiftung na Hochschule für Musik, Theater und Medien Hannover (Alemanha), sob supervisão de Ming Tsao. É líder do Grupo de Pesquisa Núcleo Música Nova (UNESPAR – CNPq), membro do Laboratório de Música, Sonologia e Áudio (LaMuSA), editor da *Revista Vórtex* (ISSN 2317-9937) e coordenador geral do SIMN (Simpósio Internacional de Música Nova). felipe.ribeiro@unespar.edu.br