

Róger Borges Araujo

GRR20184780

Síntese digital do conjunto de registros de flautas do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR

Monografia apresentada à disciplina OA027- Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado como requisito parcial à conclusão do Curso de Bacharelado em Música - Departamento de Artes, Setor de Artes, Comunicação e Design da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Hugo de Souza Melo

CURITIBA
2019

Róger Borges Araujo

GRR20184780

Síntese digital do conjunto de registros de flautas do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR

Monografia apresentada à disciplina OA027- Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado como requisito parcial à conclusão do Curso de Bacharelado em Música - Departamento de Artes, Setor de Artes, Comunicação e Design da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Hugo de Souza Melo

CURITIBA

2019

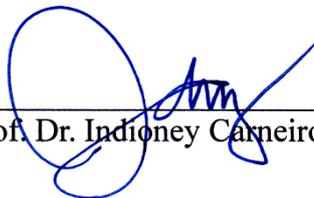
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN
Departamento de Artes
Coordenação do Curso de Música

**ATA DA 5ª ETAPA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO
DO CURSO DE GRADUAÇÃO**

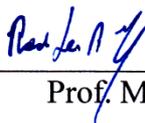
No dia 4 de dezembro de 2019, **Róger Borges Araújo** apresentou neste departamento o Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Música intitulado *Síntese digital do conjunto de registros de flauta do manual superior do órgão eletrônico Yamaha Electone E-10AR*, tendo obtido nota 100 (CEM).



Prof. Dr. Hugo de Souza Melo (orientador)



Prof. Dr. Indionei Carneiro Rodrigues



Prof. Me. Rodrigo Leite Souza Enoque



Róger Borges Araújo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha noiva, Íris Pereira Gonçalves. Por ampliar a minha visão do mundo, por me ensinar a me amar, por ser a minha companhia em todos os momentos e projetos inusitados, pelas inúmeras noites me ajudando a escrever este trabalho, por revisá-lo diversas vezes, por colorir o mundo com seu sorriso, por todo o seu amor, que tanto me inspira, por sonharmos juntos e por tanto mais que ainda haveremos de conquistar.

Minha profunda gratidão aos professores e colegas do Departamento de Artes da UFPR, em especial o meu orientador, Hugo de Souza Melo, por quem tenho imensa admiração. Me sinto grato e honrado pela sua confiança em meu trabalho, por ter me oferecido o suporte necessário para o desenvolvimento das minhas capacidades e por todo o carinho e acolhimento no decorrer deste percurso.

Gostaria também de agradecer alguns amigos que me acompanharam durante este período. Ao professor Rodrigo Enoque, por compartilhar de tantos gostos em comum, por ter me contagiado com sua visão de mundo e por me auxiliar neste projeto. Ao percussionista e professor do SESC Vila Mariana/SP, Marcel Cangiani, por despertar em mim novos interesses musicais e incentivar o meu retorno à música e à UFPR. Aos irmãos que a vida me trouxe, Peterson Francisco Costa Senha e Thiago Pereira Jachelli, com quem tive o prazer de morar junto, que tanto me ensinaram e me apoiaram em todas as circunstâncias. Ao meu amigo virtual de longa data, César Nova, pela paciência e incentivo nos meus primeiros passos na síntese de áudio e ao meu amigo João John, pelas incríveis conversas que me ajudaram a encontrar soluções para este trabalho e para peculiaridades da profissão de artista. Agradeço também ao meu colega, Lucas Françolin da Paixão, pela ajuda na execução e planejamento da gravação das amostras do órgão Yamaha Electone E-10AR, e pela companhia, que tornou o processo leve e divertido.

Sou agradecido aos colaboradores que tornaram os *softwares* Audacity, Libre Office e GIMP possíveis. Às empresas que gentilmente cederam em seus *websites* os ótimos *softwares* de áudio utilizados neste trabalho. Ao usuário Steve The Fiddle, que disponibilizou gratuitamente a sua extensão HQ-Tone no fórum *audacity-devel* e ao *designer* Steve Matteson, também por disponibilizar gratuitamente algumas de suas criações.

Deixo aqui o meu imenso agradecimento a duas instituições que foram fundamentais para mim neste período. A Fundação Casa do Estudante do Paraná, que me abrigou durante o período do curso e a Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis da UFPR, por me conceder todo o suporte necessário para a realização deste curso. Sem estas instituições, o sonho de realizar este trabalho e concluir o curso de bacharelado em música não seria possível.

Não poderia deixar de agradecer aos meus pais, pelo apoio, amor incondicional e ensinamentos que fizeram de mim a pessoa que sou hoje. Sou eternamente grato por tudo o que me ensinaram, por nutrir e apoiar a minha arte, minhas ideias malucas, por sonhar junto e me lembrar de botar os pés no chão. Agradeço cada choro e cada alegria juntos. Pela família que somos, por nossos gatos e pela nossa união. Amo muito vocês. Também gostaria de agradecer à minha segunda família: Noésia Pereira Gonçalves, Osvaldo Leite Gonçalves e Raul Natan Gonçalves. Muito obrigado por toda a paciência, apoio, desprendimento de energia em me auxiliar a concluir este curso e de tantos outros momentos.

Por fim, muito obrigado a todos que ajudaram direta e indiretamente em todo este processo. Carrego todos vocês no coração.

RESUMO

A evolução da tecnologia de síntese digital de áudio permitiu simular com fidelidade o som e o funcionamento de antigos órgãos elétricos. A deterioração de um órgão Yamaha Electone E-10AR do Departamento de Artes da UFPR motivou a simulação dos registros de flautas do manual superior deste instrumento por síntese digital. O estudo dos métodos de simulação e a comparação entre a recriação e o órgão original permite a simulação de instrumentos de funcionamento similar, além de expandir as capacidades expressivas de novos sons sintéticos. Com esta finalidade, foram analisadas amostras dos sons do órgão original por espectro de frequência e osciloscópio, baseado em parâmetros encontrados em materiais sobre outras simulações. As características descobertas serviram de base para a simulação proposta. E este trabalho compara a simulação e os sons do instrumento original.

Palavras-chave: Órgão, síntese, simulação, Electone, VST.

ABSTRACT

The digital synthesis technological evolution allowed simulating the sound and the functions of old electric organs with precision. The deterioration of a Yamaha Electone E-10 organ, owned by Art Department of Federal University of Paraná, motivates the digital synthesis simulation of the organ's superior manual flute registers. The simulation methods and the comparisons allows the simulation of similar functionality instruments, and allows the expansion of the expression capabilities of new synthetic instruments. Samples of the original organ were analyzed by frequency spectrum and oscilloscope, based on parameters used in other similar simulations. The discovered characteristics were used to create the proposed simulation. And this work compares the original organ sound and the simulation.

Keywords: Organ, synthesis, simulation, Electone, VST.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Tubos de órgãos	02
Figura 02	Órgão hidráulico e órgão ibérico	04
Figura 03	Comparação de registros de flautas de um órgão Hammond e de um órgão de tubos	05
Figura 04	Elementos internos de uma caixa Leslie	06
Figura 05	Padrões de variação cíclica de um oscilador e seus respectivos conteúdos harmônicos	08
Figura 06	Bandas de atenuação dos filtros passa-baixa, rejeita-faixa e passa-faixa	09
Figura 07	Estágios de um EG ADSR	10
Figura 08	Posicionamento dos microfones no órgão Yamaha Electone E-10AR	14
Figura 09	Comparativo entre simulação e instrumento real da tecnologia TAE da empresa Arturia	17
Figura 10	Abrangência e distribuição das notas dos registros de flautas do órgão Yamaha Electone E-10AR	18
Figura 11	Comparação entre uma onda quadrada pura e uma amostra do órgão Yamaha Electone E-10AR	20
Figura 12	Ação dos filtros do órgão Yamaha Electone E-10AR sobre 440Hz de cada registro de flautas do manual superior	20
Figura 13	Visualização por osciloscópio da amostra da nota Lá3 do registro FLUTE 8' do órgão Yamaha Electone E-10AR	21
Figura 14	Visualização detalhada por osciloscópio da amostra da nota Lá3 do registro FLUTE 8' do órgão Yamaha Electone E-10AR	22
Figura 15	Organograma do sinal de áudio no programa Kontakt 5	24
Figura 16	Visualização da simulação no editor de mapeamento do Kontakt 5	26
Figura 17	Filtros passa-baixa do Kontakt 5 utilizados na simulação	28

Figura 18	Modificadores dos valores de drive do efeito de distorção do Kontakt 5	29
Figura 19	Modificadores dos valores de volume dos grupos do Kontakt 5 utilizados para a simulação	29
Figura 20	Simulação dos controles de quatro estágios dos registros do órgão Yamaha Electone E-10AR no programa Kontakt 5	31
Figura 21	Interface criada para a simulação no programa Kontakt 5	31
Figura 22	Comparação da nota Lá3 de cada registro por espectro de frequência entre a simulação e as amostras do órgão original	33
Figura 23	Comparação dos registros FLUTE 2', 2 ² / ₃ ' e 4' por espectro de frequência entre a simulação e as amostras do órgão original	34
Figura 24	Comparação dos registros FLUTE 5 ¹ / ₃ ', 8' e 16' por espectro de frequência entre a simulação e as amostras do órgão original	35
Figura 25	Visualização por osciloscópio da amostra da nota Lá3 do registro FLUTE 8' da simulação	36
Figura 26	Visualização detalhada por osciloscópio da amostra da nota Lá3 do registro FLUTE 8' da simulação	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Temperamento de escala do órgão Yamaha Electone E-10AR	22
Tabela 02	Análise das amostras do registro 2' do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR	42
Tabela 03	Análise das amostras do registro 2 ² / ₃ ' do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR	43
Tabela 04	Análise das amostras do registro 4' do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR	45
Tabela 05	Análise das amostras do registro 5 ¹ / ₃ ' do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR	46
Tabela 06	Análise das amostras do registro 8' do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR	48
Tabela 07	Análise das amostras do registro 16' do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR	49
Tabela 08	Lista de arquivos contidos no CD-ROM Anexo 2	51

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	01
1. CONTEXTUALIZAÇÃO	
1.1 O órgão	02
1.2 O órgão elétrico	04
1.3 Síntese sonora	07
1.4 Síntese no meio digital	10
2. CAPTURA E ANÁLISE DAS AMOSTRAS DO INSTRUMENTO	
2.1 O órgão Yamaha Electone E-10AR	12
2.2 Captura de amostras do Yamaha Electone E-10AR	14
2.3 Edição das amostras do Yamaha Electone E-10AR	15
2.4 Análise das amostras do Yamaha Electone E-10AR	16
3. SIMULAÇÃO DAS AMOSTRAS EM AMBIENTE VIRTUAL	
3.1 Descrição do <i>software</i> utilizado para a simulação	23
3.2 Simulação do registro de flautas do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR no <i>software</i> Kontakt 5	25
3.3 Comparação entre a simulação e as amostras do órgão original	31
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS	40
ANEXO	42
ANEXO 2	51

INTRODUÇÃO

Da mesma maneira que a tecnologia é capaz de gerar novos horizontes, ela também é capaz de reconstruir partes do passado. Recentemente, muitos instrumentos musicais puderam ser aprimorados com esta evolução, seja pela capacidade que estas novas ferramentas permitem de capturar, analisar e comparar dados, ou pela implantação de novos recursos. Tais análises, por exemplo, possibilitaram a compreensão do funcionamento de antigos instrumentos que produziam sons únicos, como o caso dos órgãos elétricos. A partir da década de 1990, houve um grande interesse por estes instrumentos, que eram considerados antiquados na década anterior. Com a popularização dos computadores neste período, simulações virtuais destes órgãos (em especial o Hammond B3) se tornaram comuns e com resultados sonoros cada vez mais convincentes. Durante este período, era comum as empresas divulgarem pequenas notas em suas propagandas sobre os procedimentos empregados para simular as peculiaridades dos instrumentos originais. Apesar da grande variedade de órgãos elétricos simulados, ainda há muitos com timbres únicos que merecem atenção. Dentre eles, a linha Electone da Yamaha, que obteve um grande sucesso popular durante a década de 1970. Um exemplar dessa linha se encontra no Departamento de Artes da Universidade Federal do Paraná, infelizmente em processo de deterioração. Trata-se de um Yamaha Electone E-10AR, de 1974. Em 2010, enquanto o instrumento ainda estava em operação, foram capturadas amostras deste instrumento no estúdio do Departamento de Artes da UFPR, motivando hoje a sua recriação por meio de uma simulação que parte do resultado sonoro para a síntese deste órgão, respeitando seu funcionamento e suas peculiaridades. Além do objetivo de compreender o funcionamento deste antigo instrumento, a pesquisa buscou entender e interpretar os parâmetros recolhidos de propagandas de instrumentos virtuais similares, bem como manuais de instruções e outras literaturas, a fim de absorver novas ferramentas que auxiliarão tanto no desenvolvimento de simulações quanto na ampliação das capacidades expressivas de novos instrumentos sintéticos. Para a melhor compreensão das características do Yamaha Electone E-10AR, o conjunto de flautas do manual superior do órgão foi selecionado para a análise e simulação, por conter o menor conteúdo harmônico, explicitando assim alterações como distorções, afinação, transientes, além da detecção da utilização de filtros. Desta forma, foram utilizadas ferramentas como osciloscópio, afinador e analisador de espectro de frequência. Ao final, foi criado um pequeno banco de timbres e houve uma comparação com o instrumento original.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1 O órgão

O órgão é um dos instrumentos mais antigos e tradicionais da cultura europeia. Obteve destaque pelo uso na religião católica durante as missas, sendo utilizado como acompanhamento para o canto solo, o canto coral ou com repertório solo. De acordo com a pesquisadora Célia Ramos, o órgão é um “(...) instrumento de grandes proporções que reclama estabilidade para a sua instalação e expira solidez, identifica-se com a própria instituição (igreja) inabalável ao tempo e às mentalidades” (2001, p. 242). Esse instrumento é classificado como um aerofone¹ de teclas, pois a interação do instrumentista com o órgão acontece por intermédio de teclados e registros, que acionam um mecanismo que permite a passagem de ar para conjuntos de tubos. Confeccionados geralmente em metal ou madeira, os tubos apresentam tamanhos e funcionamento diferentes uns dos outros, para que gerem notas e timbres variados. O pesquisador João Duque ressalta que a produção desse tipo de instrumento não é em série, portanto cada instrumento apresenta características únicas. Para o autor, o que distingue um órgão de outro é a organização do corpo sonoro formado pelos tubos, que são dispostos em registros. Por sua vez, esses registros contêm tubos diferentes para cada nota do teclado, atribuindo uma ampla variedade de sons ao instrumento (DUQUE, 2006, p. 161). Assim, cada registro viabiliza uma variação de timbre ao instrumento, com a possibilidade de mescla-los simultaneamente. Comumente estes registros têm seus nomes atrelados a uma função (como Principal ou Quinta) ou à de um instrumento com sonoridade próxima (como Flauta, Viola ou Trompete) (Figura 1).

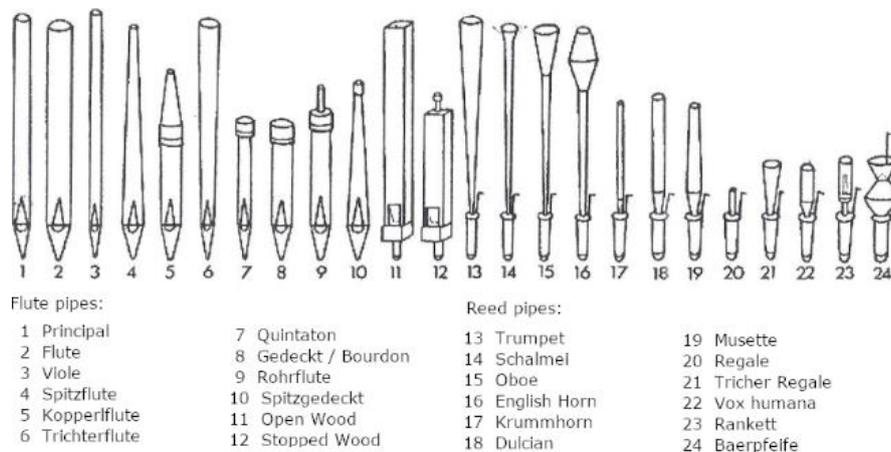


Figura 01 – Tubos de órgãos (PACHER, 2013, p. 07).

¹ Aerofone: instrumento que utiliza a passagem do ar para gerar som (MUSICAL INSTRUMENT MUSEUMS ONLINE, 2011, p.16).

Por ser um instrumento muito antigo, há inúmeras variações do órgão. O primeiro que se tem registro é o órgão hidráulico, desenvolvido por Ctesíbios de Alexandria, no séc. III a.C. O instrumento utiliza a água para impulsionar o ar no interior dos tubos e dessa maneira gerar o som (RAMOS, 2003, p. 231). Futuramente o sistema hidráulico foi substituído pelo pneumático. A exemplo, o harmônio, no século XVI, funcionava com palhetas livres² e possuía foles bombeados pelos pés ou pelas mãos do instrumentista (JENKINS, 2009, p.294-295). No mesmo período havia o realejo, com o som gerado por tubos acionados por um cilindro dentado e fole ativado por manivela (*ibidem*, p.292-293). Aos poucos os órgãos foram passando por transformações, ganhando proporções e funcionalidades. As necessidades de cada período histórico trouxeram implementações ao instrumento, rendendo-lhe classificações como barroco, romântico, sinfônico etc. Até hoje estes instrumentos são construídos, como o órgão da Paróquia do Imaculado Coração de Nossa Senhora do Rosário de Fátima, inaugurado em 2019 (ADMINISTRAÇÃO APOSTÓLICA PESSOAL SÃO JOÃO MARIA VIANNEY, 2019), e se mantêm em processo de atualização, incluindo funções como acionamento eletrônico, comunicação por MIDI³ e afins. Por exemplo, Vincent Dubois, organista da Catedral francesa de Notre-Dame, em entrevista sobre o Grande Órgão, concedida ao periódico *The New York Times*, afirmou que:

Uma das razões do órgão ser tão impressionante é que ele vem sendo renovado constantemente, disse o sr. Dubois, observando que cada grande organeiro francês trabalhou nele e o modernizou utilizando a melhor tecnologia, incluindo a adição de eletrônica. “A síntese de todo esse trabalho é simplesmente um milagre”, ele acrescenta (MARSHALL, 2019).

Geralmente os órgãos são construções imensas e caras, contendo diversos conjuntos de tubos, com formatos, timbres e funcionamento diferentes. O tamanho desses órgãos pode abranger paredes inteiras de uma catedral e são comumente encontrados em igrejas e salas de concerto. Destes grandes instrumentos, o órgão ibérico merece ser destacado pela sua influência nos instrumentos que serão futuramente tratados neste trabalho. Apesar do órgão ibérico ser um instrumento de construção menos complexa do que, por exemplo, um órgão romântico, ele dispõe de som e aparência não menos imponentes. Este tipo de instrumento é característico de Portugal dos séculos XVII e XVIII. O órgão ibérico tem como característica apresentar apenas um ou no máximo dois manuais⁴ e não apresentar o teclado de pedal. Seus registros são partidos, ou seja, abrangendo apenas zonas específicas dos manuais, e geralmente têm o som similar a flautas. De

² Palhetas livres: filamentos metálicos afinados que vibram com a passagem do ar, produzindo sons (MUSICAL INSTRUMENT MUSEUMS ONLINE, 2011, p.16).

³ MIDI (Musical Instrument Digital Interface): padrão de comunicação entre computadores e instrumentos musicais (RUSS, 2009, p.380).

⁴ Manual: Teclado do órgão designado a ser tocado pelas mãos (HOPKINS, 1870, p.47 B).

acordo com Duque: “Isso distingue, à partida, as características sonoras, pois situa toda a sonoridade na zona média e aguda, não dando tanta importância aos graves, como acontece com outras tradições europeias” (2006, p. 162).

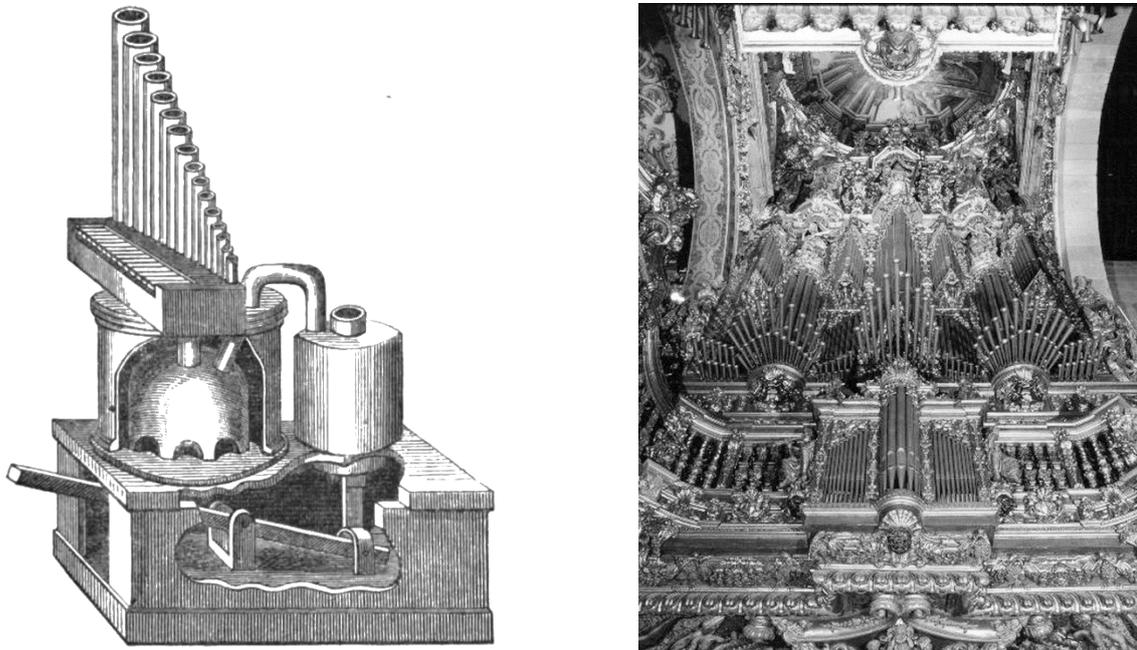


Figura 02 – À esquerda um órgão hidráulico (HOPKINS, 1870, p.13) e à direita um órgão ibérico, o Órgão do Evangelho, de 1737, da Catedral da Sé de Braga, Portugal (DIREÇÃO-GERAL DO PATRIMÓNIO CULTURAL).

Por fim, os órgãos de teatro foram inventados na primeira metade do séc. XX e eram projetados para que um único executante substitui-se os sons de toda uma orquestra ou banda, além de permitir a realização da sonoplastia de peças de teatro e filmes mudos. Estes órgãos continham instrumentos de percussão e outros objetos ligados eletricamente ao painel do órgão (RUSS, 2009, p. 200).

1.2 O órgão elétrico

O órgão elétrico é um instrumento que utiliza a energia elétrica para gerar o seu som de maneira sintética. Derivado do órgão de tubos, o primeiro órgão elétrico de sucesso comercial foi o Hammond Organ, desenvolvido por Laurens Hammond. Em 1933, este relojoeiro desenvolveu um mecanismo que utiliza engrenagens de ferro com bordas entalhadas movidas por um motor. Essas engrenagens eram chamadas de *tonewheel*, que ao girarem perto de um captador magnético, faziam um som semelhante a ondas senoidais⁵ (LIMINA, 2002, p. 2). Com esse mecanismo, em 1935, Laurens Hammond lançou no mercado o Hammond Organ Model-A, que não obteve

⁵ Onda senoidal: Baseada na função de seno, a onda senoidal tem formato redondo e contém apenas o harmônico fundamental, sendo a forma de onda mais simples gerada por um oscilador (RUSS, 2009, p.109).

grande destaque comercial. Depois de melhorias e refinamentos, em 1955 foi lançado o Hammond Organ B3 (SPARK, 1997) que atingiu o sucesso de vendas e acabou servindo de padrão para todos os outros órgãos da companhia. De maneira similar aos órgãos ibéricos, Hammond dispôs as *tonewheels* em registros partidos, possibilitando ao instrumentista somá-los individualmente, conferindo uma grande gama de timbres ao instrumento (LIMINA, 2002, p. 2).

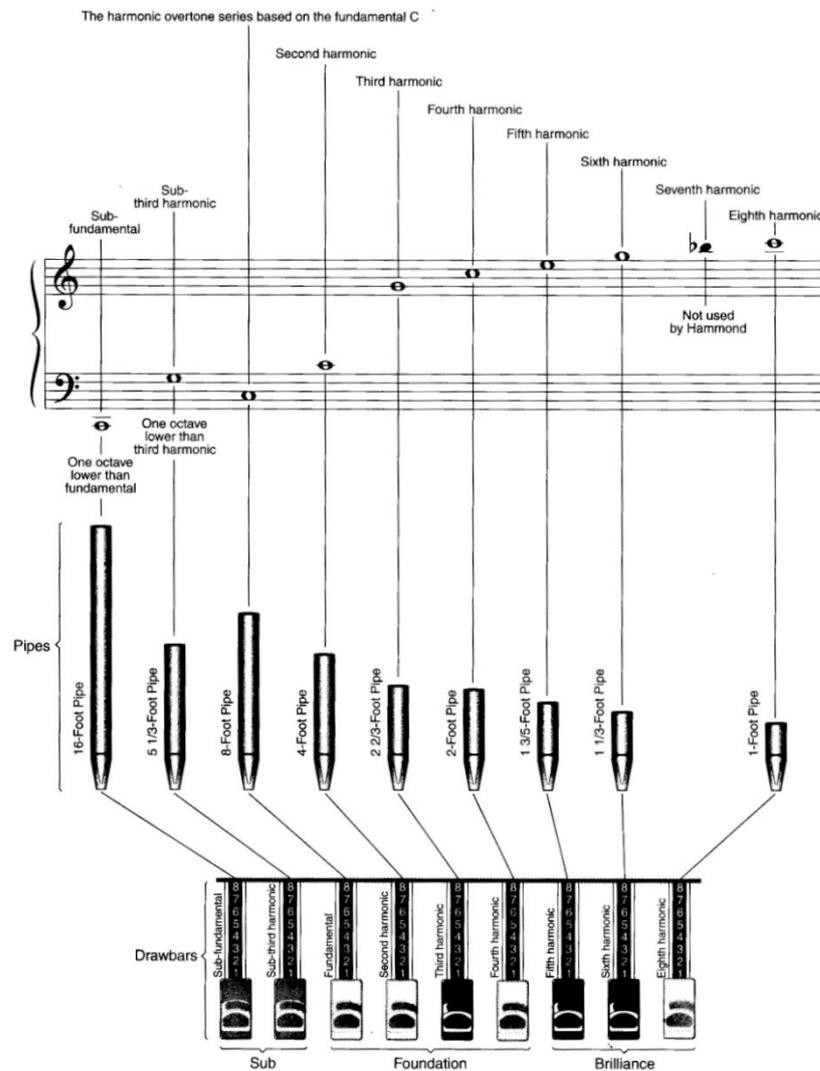


Fig. 2. Overtone series as it corresponds to the Hammond and to pipe organs

Figura 03 – Registros de um órgão Hammond comparado aos de um órgão de tubos (LIMINA, 2002, p.03).

A principal intenção de Laurens Hammond na fabricação de seus órgãos era a de oferecer uma alternativa de baixo custo para igrejas e residências que não pudessem arcar com os custos de um órgão de tubos. Curiosamente, foram artistas populares que mantiveram o legado do instrumento, conforme ilustra Mark Limina: “o sr. Hammond nunca pretendeu seus instrumentos para o uso por músicos profissionais de jazz ou músicos de rock. Na verdade, ele se opunha a rotulá-los como artistas profissionais. Ironicamente, foram estes artistas que ajudaram a criar o

legado que desfrutamos hoje” (2002, p. 02). Em relação à sua sonoridade, o órgão Hammond não produz um som similar aos órgãos de tubos, como era a intenção inicial de seu inventor. As *tonewheels* geravam um som constante e estático (VAIL, 2002, p. 06). Para dar movimento a este som, a companhia Hammond adaptou efeitos de *chorus*⁶ e *vibrato*⁷ próprios nos seus instrumentos. Os efeitos adicionados pela companhia eram eficazes, porém, em 1945, Ronald Leslie patenteou um alto-falante que viria a ser praticamente um efeito inseparável dos órgãos Hammond (RUSS, 2009, p. 80). A caixa Leslie, como ficou conhecida, funcionava com um *tweeter* e um *subwoofer*⁸, além de contar com difusores giratórios, que espalhavam o som do instrumento em 360°. Sobre a adesão deste acessório pelos artistas, Dave Limina, no livro *Organ Hammond complete*, afirma: “muitos organistas desabilitam os alto-falantes internos e usam o órgão com a caixa Leslie” (2002, p. 03). Diferente dos efeitos internos do órgão Hammond, que eram cíclicos, a caixa Leslie propiciava um efeito de maior complexidade. Somada à questão de falta de sincronia dos motores que controlam os difusores giratórios, o som da caixa Leslie reflete nas paredes do ambiente, o que confere o efeito de modulação por cancelamento e reforço de amplitude⁹, proporcionando uma rica experiência sônica ao ouvinte.

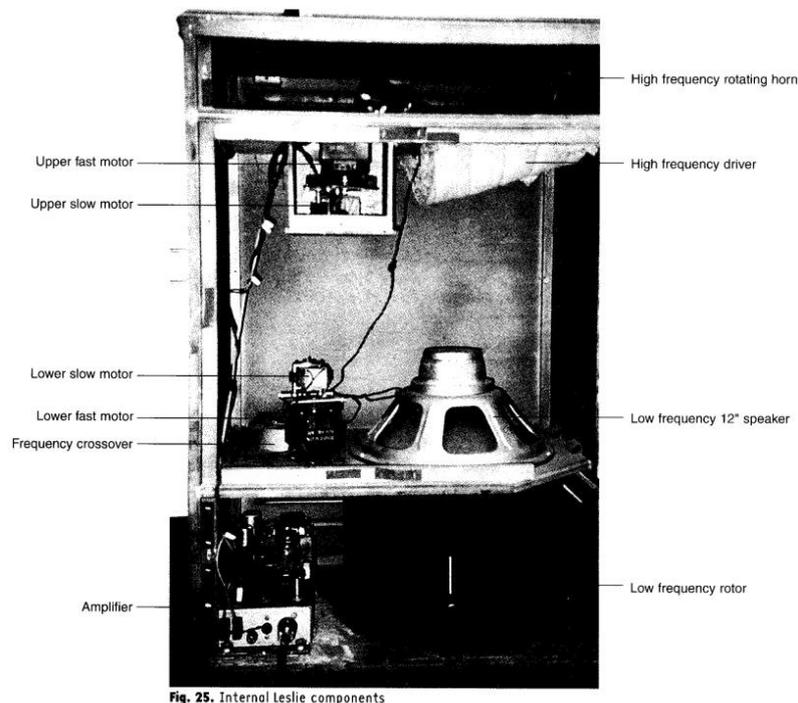


Figura 04 – Elementos internos de uma caixa Leslie (LIMINA, 2002, p. 17).

⁶ *Chorus*: Desafinação cíclica de um sinal, somado sinal original com ≈ 10 ms de defasagem (RUSS, 2009, p.441).

⁷ *Vibrato*: Variação cíclica da frequência de um som (RUSS, 2009, p.145).

⁸ *Tweeter* e *subwoofer*: alto-falantes dedicados a emitir sons agudos e graves, respectivamente.

⁹ Cancelamento e reforço de amplitude: quando há a soma de duas ondas sonoras em fases opostas, uma cancela a amplitude uma da outra ou, devido a estarem na mesma posição de fase, suas amplitudes se somam. (VALLE, p.81)

Em 1949, a Allen, outra empresa do ramo de instrumentos, lançou no mercado o primeiro órgão eletrônico a utilizar osciladores estáveis e independentes como geradores de som (RUSS, 2009, p. 81). Os osciladores permitiram que o órgão ficasse mais leve e compacto (HANLEY, 2010, p.14), possibilitando uma maior portabilidade, praticidade de manutenção e, posteriormente, ampliando a gama de recursos do instrumento. O modelo proposto pela Allen foi seguido pelas empresas Vox e Farfisa, que obtiveram sucesso comercial, sendo utilizado por grupos musicais como The Doors e Pink Floyd (HANLEY, 2010, p.14-15).

1.3 Síntese sonora

O sintetizador é um instrumento eletrônico que permite gerar e manipular sons artificialmente (RUSS, 2009, p. 3-5). Comumente, os sintetizadores funcionam no que Martin Russ denomina de *source and modifier*, ou seja, o instrumento faz uso de uma fonte sonora, que posteriormente é alterada por filtros e outros efeitos (*ibidem*, p. 8).

O primeiro sintetizador que se tem registro foi o RCA mark I, de 1954, seguido do RCA mark II, de 1957, utilizado pela Columbia-Princeton Electronic Music Centre, na cidade de Nova Iorque, nos EUA. A interação do instrumentista com estes dois sintetizadores acontecia por intermédio de programações em cartão perfurado (*ibidem*, p. 15-16). Apesar de eficiente, este tipo de controle desprendia muito tempo para resultados de curta duração. Com o intuito de melhorar a interação do instrumentista com o sintetizador, Donald Buchla publica em 1963 o primeiro sintetizador em módulos com controle por tensão¹⁰ (BUCHLA), conhecido por *the black box* (RUSS, 2009, p. 82). O controle por tensão permitia a operação da máquina pelo uso de teclados e botões, tornando a interação mais intuitiva, enquanto o sistema modular proporcionava ao usuário a possibilidade de montar o seu próprio instrumento, por meio da aquisição de componentes e conectando-os na ordem que desejasse. Apesar da inovação, o instrumento de Buchla não alcançou o sucesso comercial como o sistema modular de Robert Moog. Os dois instrumentos eram similares, seguindo a lógica modular e com controles por tensão, porém, o Moog foi utilizado no álbum *Switched On Bach*, de Wendy Carlos, que alcançou grande sucesso e popularizou o uso do instrumento entre artistas como o grupo The Beatles e Rolling Stones (RUSS, 2009, p. 27).

Tanto os sintetizadores das empresas RCA, Buchla e Moog, quanto os órgãos das empresas Allen, Vox, Farfisa e Yamaha, utilizam dispositivos eletrônicos chamados osciladores para gerar o som do instrumento. Ao alternar a tensão e a corrente elétrica em formas cíclicas de

¹⁰ Para fins de abreviação, no decorrer deste trabalho, por tensão, entenda-se tensão elétrica.

onda, o oscilador cria conteúdos harmônicos com diferentes características. A forma senoidal tem apenas o harmônico fundamental da nota executada, não contendo demais harmônicos. As formas quadrada e triangular apresentam uma série de harmônicos ímpares em diferentes proporções. Na onda quadrada há uma abundância de harmônicos, enquanto a forma triangular, há um maior destaque ao harmônico fundamental. Por último, a forma de onda dente-de-serra é rica em harmônicos pares e ímpares. Alguns osciladores oferecem a opção de desequilibrar a simetria de fase da onda quadrada (modulação por largura do pulso), conferindo a ela uma ampla gama de harmônicos, tanto ímpares quanto pares (*ibidem*, p. 108-109).

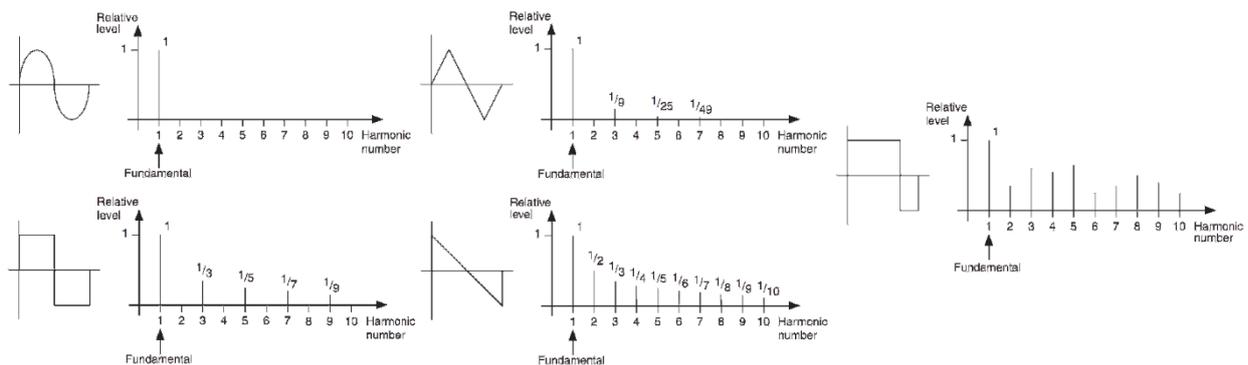


Figura 05 – Formas de onda do oscilador e seus respectivos conteúdos harmônicos (RUSS, 2009, p. 109-112).

Assim como nos órgãos, onde há a possibilidade de somar os registros para obter um novo timbre, no sintetizador também há a possibilidade de somar os osciladores com a mesma finalidade. Este é o processo de síntese aditiva, onde harmônicos são somados para criar um novo timbre (FRITSCH, 2008, p. 167-169). Outra possibilidade de criar novos timbres em um sintetizador é por meio da síntese subtrativa. Enquanto harmônicos são adicionados na síntese aditiva, na subtrativa eles são retirados com o auxílio de filtros e geradores de envelope (RUSS, 2009, p. 107).

Martin Russ descreve os filtros como “um amplificador cuja atenuação muda com a frequência” (*ibidem*, p. 113). No livro *Synthesizer basics*, Dean Friedman compara o filtro utilizado em sintetizadores aos equalizadores encontrados em rádios: “Não é diferente de um simples controle de agudo/grave que você encontra em qualquer rádio. Com ele você pode afetar o brilho e o timbre como um todo de um som” (1985, p. 24). Assim, os filtros subtraem o conteúdo harmônico, sendo um item fundamental no processo de síntese subtrativa. Eles são classificados de acordo com a forma da banda de atenuação (RUSS, 2009, p. 113). Os tipos mais comuns de filtros nos sintetizadores são o passa-baixas (*low-pass*), passa-altas (*high-pass*), o passa-faixa (*band-pass*) e o rejeita-faixa (*notch*). Partindo de uma frequência de corte (*cutoff frequency*) definida pelo usuário, estes filtros reduzem gradualmente a amplitude das frequências seguintes. São co-

munos nestes instrumentos as bandas de atenuação de -12 dB e -24 dB a cada oitava (dobro da frequência de corte escolhida). Nos filtros passa baixas, o que está acima da frequência de corte é atenuado, mantendo as frequências mais graves intactas. No filtro passa altas acontece o oposto: o que está abaixo da frequência de corte é atenuado, enquanto as frequências acima são mantidas intactas. No filtro passa faixa, as frequências abaixo e acima da frequência de corte são atenuadas, enquanto no filtro rejeita-faixa é a frequência de corte que é atenuada, mantendo as frequências mais altas e mais baixas intactas (FRIEDMAN, 1985, p. 43-44).

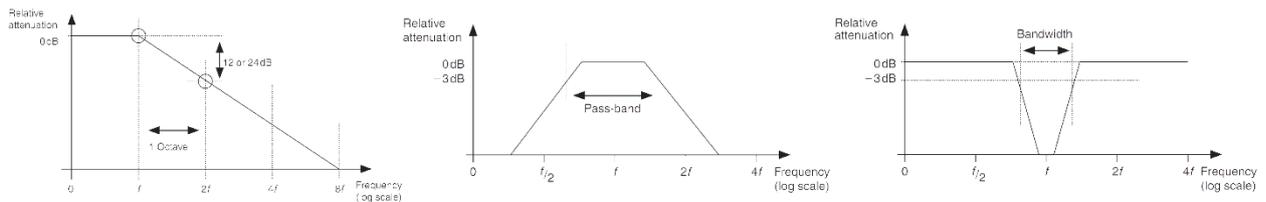


Figura 06 – Bandas de atenuação dos filtros passa-baixa, rejeita-faixa e passa-faixa (RUSS, 2009, p. 115-118).

Outro elemento da síntese subtrativa são os envelopes. Martin Russ define-os como “a ‘forma’ geral do volume de um som, delineado no tempo. Em um sintetizador analógico, o volume da saída de som é regulado todo o tempo pelo amplificador controlado por tensão (VCA¹¹) e a tensão que é utilizada é chamada de envelope” (2009, p.120-121). Ou seja, os geradores de envelopes (*Envelope Generator* ou EG), têm a função de controlar outros parâmetros do sintetizador por estágios, sendo ativado por gatilhos. Nos sintetizadores analógicos, os geradores de envelopes são comumente utilizados em pares, sendo um conectado ao VCA, com a finalidade de controlar o volume geral do instrumento, e outro conectado ao VCF (filtro controlado por tensão ou *Voltage-Controlled Filter*), a fim de controlar a frequência de corte. A quantidade de controles sobre a forma do envelope classifica o tipo de EG. O mais comum, é o de quatro estágios, chamado ADSR (Ataque, Decaimento, Sustentação e Repouso, ou *Attack, Decay, Sustain and Release*). Nele, os estágios de ataque e repouso geralmente são engatilhados pelo pressionar das teclas do instrumento (FRIEDMAN, 1985, p.26). Neste caso, o controle de ataque controla o tempo entre a posição inicial do parâmetro até o seu ponto mais alto a partir do apertar da tecla. Já o controle de decaimento controla o tempo entre o ponto mais alto, entregue pelo ataque, até a intensidade definida pelo controle de sustentação. Por último, o controle de repouso, ativado pelo soltar da tecla, controla o tempo entre a posição estabelecida de sustentação até o retorno do parâmetro à sua posição inicial.

¹¹ VCA: *Voltage-Controlled Amplifier*.

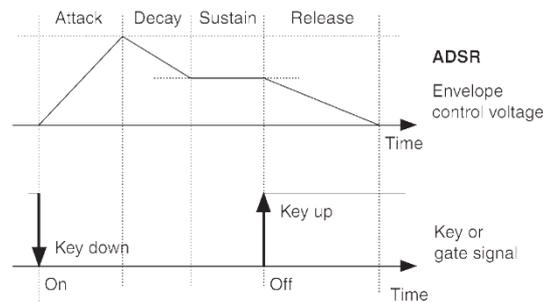


Figura 07 – Os quatro estágios de um EG ADSR com gatilhos de ativação (RUSS, 2009, p. 127).

Apesar das inovações, os sintetizadores modulares por controle de tensão eram instrumentos grandes e difíceis de transportar. Assim como ocorreu com os órgãos elétricos, os sintetizadores também sofreram um processo de compactação. A partir de 1969 a empresa Moog lançou um sintetizador compacto, com módulos pré-estabelecidos e com cabeamento interno, chamado MiniMoog (RUSS, 2009, p. 195). Seguindo a tendência de compactação, o modelo 2600 da ARP foi lançado em 1970, também com cabeamento interno, porém, mantinha a possibilidade do músico alterar a ordem dos módulos com a utilização de cabos externos, como no sistema modular (*ibidem*, p. 82). A compactação popularizou ainda mais o sintetizador, que passou a ser utilizado constantemente por músicos de palco e em gravações dos mais variados estilos.

1.4 Síntese no meio digital

No final da década de 1970 a tecnologia digital passou a ser incluída nos sintetizadores analógicos, auxiliando na estabilidade de parâmetros e ampliando algumas funções, formando o que Martin Russ chama de instrumentos híbridos (2009, p. 205). Essa inovação possibilitou uma maior estabilidade de afinação dos osciladores, bem como o recurso de auto afinação (*ibidem*, p. 225-227), formas de onda mais complexas (*ibidem*, p. 206), maior precisão dos filtros (*ibidem*, p. 234), acesso instantâneo à programações pelo armazenamento na memória (*ibidem*, p. 246-247), flexibilização de esquemas de ligação entre os módulos internos, entre outras vantagens.

A completa transformação do sintetizador para um instrumento digital aconteceu apenas com a popularização da tecnologia nos anos de 1980. Com esta nova configuração, novas formas de síntese passaram a ser possíveis. É o caso da síntese por modulação de frequência (FM). Prevista no artigo *The synthesis of complex audio spectra by means of frequency modulation*, de John Chowning, publicado em 1973, a síntese FM foi estabelecida plenamente no sintetizador Yamaha DX7, de 1982, pela sua grande estabilidade de afinação (*ibidem*, p.28). A popularização dos recursos digitais também permitiu a utilização de amostras de instrumentos reais no processo

de síntese, possibilitando a síntese S&S (*Sample and Synthesis*), como no Roland D-50, de 1987, a síntese granular¹² e a síntese por áudio elástico¹³, como no Roland V-Synth, de 2003.

Ainda que os sintetizadores digitais viabilizassem arquiteturas ousadas e novas perspectivas quanto à qualidade sônica, haviam características peculiares aos sintetizadores analógicos que não foram inicialmente contempladas pelas contrapartes digitais. Livros e artigos lançados entre o final da década de 1980 e começo da década de 2000 como comentam a dicotomia das duas arquiteturas. Atendendo à demanda pelas características que tornam os sintetizadores analógicos únicos, a partir da década de 1990 começam a ser e comercializados sintetizadores analógicos com tais características, chamados VA (*Virtual Analogue*). A tecnologia dos VA vem sendo desenvolvida até os dias de hoje. Dentre os sintetizadores VA, pode-se destacar o Korg Prophecy, utilizado por inglês Rick Wakeman, o Clavia Nord Lead, utilizado pelo músico francês Jean-Michel Jarré e o Access Virus, utilizado pelo grupo americano MGMT. De maneira similar, o mesmo aconteceu com os órgãos elétricos, que tinham características que os tornavam únicos. Assim, os órgãos digitais que simulavam as características de suas contrapartes eletromecânicas e eletrônicas ganharam igualmente o nome de VA. A exemplo, os órgãos Hammond, cuja a empresa havia declarado falência em 1986, foi comprada pela empresa Suzuki em 1987, que retomou a marca neste período, fabricando órgãos VA (SPARK, 1997). Outras empresas também fizeram suas simulações de órgãos elétricos, como o Oberheim OB-3, o Roland VK-8 e o Korg BX-3 (LIMINA, 2002, p.4-5). No final da década de 1990, a popularização dos computadores caseiros, o barateamento de componentes de alta capacidade e o avanço tecnológico ajudaram a popularizar os instrumentos virtuais. Dentre eles, se encontram simulações do órgão Hammond B3, como o GSi VB3 e o Native Instruments B4-II, além de *samplers*¹⁴ como o Kontakt 5, também da Native Instruments.

¹² Síntese granular: Construção de sons a partir da divisão e manipulação de trechos de 10 a 100ms recortados da fonte sonora, chamados grãos (RUSS, 2009, p. 294).

¹³ Áudio elástico: Processo que permite a manipulação de afinação, tempo ou formante de uma amostra de som digital independentemente, mantendo a qualidade sonora (THORNTON, 2008).

¹⁴ *Sampler*: Instrumento que grava, guarda e reproduz amostras de áudio. Comumente adotam uma arquitetura análoga aos sintetizadores (RUSS, 2009, p.316-317).

2. CAPTURA E ANÁLISE DAS AMOSTRAS DO INSTRUMENTO

2.1 O órgão Yamaha Electone E-10AR

À medida que a tecnologia de síntese evoluiu, os órgãos passaram a absorver arquiteturas similares aos sintetizadores. Essa absorção permitiu uma disponibilidade maior de timbres e também uma quantidade maior de recursos aos organistas. Na década de 1950, a adição de osciladores independentes permitiu que houvesse uma maior estabilidade de afinação dos órgãos, redução dos custos de produção, além da diminuição do peso e das dimensões do instrumento. Além disso, com o avanço tecnológico, os fabricantes tiveram ao seu dispor um número cada vez maior de recursos a serem implantados em seus instrumentos. Um exemplo foi a Yamaha, que se destacou na implantação de novos recursos com a série Electone, que teve início com o modelo D-1, de 1959 (YAMAHA CORPORATION, 2014). Entre os órgãos mais famosos da linha Electone, destacam-se o Yamaha GX-1, de 1975, utilizado por grupos como Emerson, Lake & Palmer, no álbum *Works vol. 1*, e Led Zeppelin, no álbum *In through the out door* e o Yamaha Electone E-70, de 1977, utilizado pelo grupo britânico The Who na música *Eminence front*.

O Departamento de Artes da Universidade Federal do Paraná tem um exemplar da linha Electone. Trata-se de um órgão Yamaha Electone E-10AR, de 1974, disposto em forma de um móvel pesado (123 kg), com dois manuais e uma pedaleira. Esse instrumento tem recursos como bateria eletrônica, alto-falante giratório (similar às caixas Leslie que costumavam acompanhar os órgãos da Hammond), efeito de vibrato e botões para acessar timbres pré-definidos incorporados no painel (YAMAHA, 1974, p.27). O Yamaha Electone E-10AR tem timbres e recursos que permitem a execução dos repertórios elaborados para outros órgãos anteriores a ele. Um exemplo é o uso do conjunto de flautas e o recurso da caixa rotatória interna, comuns nos órgãos da Hammond, utilizado por músicos como Jimmy Smith e Gregg Rolie. Somado aos registros de flautas, o conjunto de registros de cordas, metais e madeiras do Yamaha Electone E-10AR assemelha-se aos timbres obtidos pelos órgãos Farfisa Duo e o Vox Continental, utilizados por músicos como Richard Wright, do grupo britânico Pink Floyd e Ray Manzarek, do grupo americano The Doors. Por se tratar de um órgão versátil e por se encontrar disponível no Departamento de Artes da UFPR, houve interesse no estudo de suas peculiaridades para uma simulação do conjunto de registro de flautas do manual superior em ambiente digital, utilizando um instrumento virtual em um computador.

A escolha do conjunto de registros de flautas do manual superior para a simulação justifica-se pela proximidade de sua sonoridade a ondas senoidais. Essa característica fez com que

este conjunto apresentasse um menor conteúdo harmônico na análise por espectro de frequência¹⁵ dentre todos os registros do órgão, o que ajudou a evidenciar características como ruídos, distorções e mudanças na afinação. Além disto, estes registros têm a característica de apresentar uma sonoridade próxima aos registros dos órgãos clássicos da Hammond. A análise das amostras deste conjunto permitiu compreender peculiaridades que podem ser aplicadas para a simulação dos outros registros deste instrumento e de outros órgãos de funcionamento similar.

O Yamaha Electone E-10AR é dotado de dois manuais de 61 teclas e uma pedaleira de 25 teclas (YAMAHA CORPORATION, 1974, p.4). Assim como nos órgãos de tubos, os registros do Yamaha Electone E-10AR têm a nomenclatura dada à proximidade de timbre com outros instrumentos. Ao todo, o órgão tem 26 registros, sendo 15 para manual superior (FLUTE 16', FLUTE 8', FLUTE 5¹/₃, FLUTE 4', FLUTE 2²/₃, FLUTE 2', TROMBONE 16', BASSON 16', CLARINET 8', BRASS 8', KINURA 8', STRING 4' e STRING 2²/₃) 7 para manual inferior (FLUTE 8', FLUTE 4', FLUTE 2²/₃', DIAPASON 8', HORN 8', CELLO 8', CELLO 4') e 4 para a pedaleira (BASS 16', BASS 8', TUBA 16' e BASS GUITAR) (*ibidem*, p.06). Os registros desses manuais se encontram no painel superior do instrumento. Para as amostras, foram considerados apenas os registros de flautas do órgão, por conterem o menor número de harmônicos, evidenciando assim as características do instrumento nas análises. Com a finalidade de reduzir informações redundantes, foram considerados apenas os registros do manual superior, por conterem o maior número de registros de flautas do órgão, sendo eles: FLUTE 16', FLUTE 8', FLUTE 5¹/₃', FLUTE 4', FLUTE 2²/₃' e FLUTE 2'. Cada um dos registros de flautas contém sua própria chave de controle de volume em quatro estágios, sendo eles: desligado, um terço, dois terços e volume máximo (*ibidem*, p.06). O manual inferior tem três registros de flautas semelhantes aos do manual superior, porém, com características tão similares que não justificam a necessidade de análise. O instrumento tem três alto-falantes: um Yamaha JA-5101A, de 8Ω, 60W e 23¼x14½", e um Yamaha JA2053A, de 8Ω, 15W e 8", voltados para a parte posterior inferior do instrumento e um alto-falante giratório de duas velocidades Yamaha JA1701B, de 9", voltado para a lateral direita (*ibidem*, p.27). O Yamaha Electone E-10AR tem duas entradas de áudio externo, uma saída de áudio e uma saída para fones de ouvido (*ibidem*, p.18).

¹⁵ Analisador de espectro de frequência: equipamento ou programa que permite a visualização do conteúdo harmônico de um áudio, dispondo individualmente a amplitude de uma gama de frequências em uma tabela.

2.2 Captura das amostras do órgão Yamaha Electone E-10AR

O órgão do Departamento de Artes da Universidade Federal do Paraná se encontra inoperante. Em 2010 o autor coletou amostras detalhadas do instrumento, com o intuito de realizar esta mesma pesquisa. Durante a captura, as saídas de áudio e de fones de ouvido não funcionaram. A solução encontrada foi a de utilizar microfones em cada um dos alto-falantes do órgão, de maneira a reduzir ao máximo as interferências do ambiente. Para reduzir ruídos externos, o órgão foi movido para o estúdio do Departamento de Artes da Universidade Federal do Paraná, localizado na sala de número 114, que tem as dimensões de nove metros de comprimento, seis de largura e quase quatro metros de altura. Para a captura, o departamento disponibilizou três microfones Sony, modelo C-48, um computador Apple, modelo Power Macintosh G3, com o *software* ProTools LE instalado, uma placa de som Digidesign, modelo digi001 e uma mesa de som Sony SRPV324_SM. Os microfones foram ajustados para a diretividade cardioide¹⁶, com curva de resposta de frequência *music*, que de acordo com o fabricante, não faz uso do filtro passa-altas interno (SONY CORPORATION, 1980, p.5), sem atenuação do sinal e posicionados a 5 cm do centro dos alto-falantes do órgão, para reduzir ao máximo possíveis reflexões da sala durante a captura. Os três microfones foram conectados à três canais da mesa de som Sony SRPV324_SM, que por sua vez, foi conectada em três entradas de linha da interface Digidesign Digi001, ligada ao computador Apple Power Macintosh G3. No *software* ProTools LE, foram designados um canal para cada uma das entradas de linha da interface de áudio.

Figura 08 – Posicionamento dos microfones no órgão Yamaha Electone E-10AR.



¹⁶ Diretividade cardioide: oferece uma cobertura de 180°, apresentando maior sensibilidade na região frontal, menor nas regiões laterais e eliminando sons vindos da região posterior (VALLE, 2009, p. 316-317).

Durante a gravação, foi acionado um registro e uma tecla por vez, em escala cromática descendente, com a duração média de um segundo por tecla. Ao todo, foram coletadas aproximadamente 4 GB de amostras em de todo o órgão, na qualidade de 44.100 Hz/32 bits mono. As amostras do conjunto de registros de flautas do manual superior, capturadas pelos três microfones, somam 330 MB, em um total de 1.090 arquivos.

2.3 Edição das amostras do Yamaha Electone E-10AR

Cada amostra do órgão foi capturada por três microfones, registrados no *software* Pro-Tools LE em três canais separados. Finalizada a captura, as amostras foram exportadas para armazenamento externo. Em 2019 foi realizada a edição das amostras no *software* Adobe Audition 3. O *software* foi utilizado pela familiaridade do autor com o programa e pela possibilidade de editar precisamente várias faixas ao mesmo tempo, com visualização simultânea do osciloscópio de todas as faixas (ADOBE SYSTEMS INCORPORATED, 2007, p.179-180). Além disso, o *software* também permite travar cada uma das faixas na linha do tempo, evitando possíveis esbarrões, agilizando assim o processo de edição (*ibidem*, p.202).

Apesar do cuidado no posicionamento dos microfones para reduzir interferências alheias à gravação, alguns ruídos constantes presentes na sala, como os gerados pelos transformadores do órgão e outros ruídos elétricos, acabaram sendo registrados. Tais ruídos não foram eliminados na edição, para não alterar as características das amostras. Durante a gravação, foram registrados arquivos contendo todas as notas de cada registro do órgão. Na edição, as amostras das notas dos registros de flauta do manual superior do instrumento foram separadas individualmente e guardadas em pastas. Neste processo de separação, foi definido como ponto de corte inicial o primeiro transiente¹⁷ da nota e, como ponto de corte final, o máximo de silêncio que foi possível obter após a cauda da reverberação¹⁸ da sala.

Após os cortes, somaram-se 1.081 amostras individuais das notas dos registros de flautas do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR, sendo aproximadamente 61 amostras por registro. Se multiplicado pelos três microfones, obtém-se em média 183 amostras para cada um dos seis registros.

¹⁷ Transiente: Característica de curta duração no início e final de um sinal de áudio (EVEREST, 2001 p.598).

¹⁸ Reverberação: Permanência de um som após o seu término, gerado pela reflexão do som em um ambiente enclausurado (EVEREST, 2001, p.597).

2.4 Análise das amostras do Yamaha Electone E-10AR

Após a edição, foi dado início ao processo de análise individual das amostras de cada nota dos registros de flautas do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR, com a proposta de compreender as suas características e, por engenharia reversa, simulá-lo em *software*. Logo após, foram definidos os parâmetros utilizados, que tiveram como base características encontradas em manuais de instruções de outros instrumentos virtuais. A tecnologia TAE (*True Analog Emulation*), citada no manual de instruções do *software* Modular V, da empresa francesa Arturia, apresenta características de síntese relevantes à simulação de sintetizadores analógicos. Também foram encontradas peculiaridades específicas dos órgãos elétricos nas descrições técnicas dos órgãos virtuais VB3, da empresa italiana GSi, B4-II, da alemã Native Instruments e da extensão Vintage Organs, para o programa Kontakt 5, também da Native Instruments.

No manual de instruções do *software* Modular V, da Arturia, há um capítulo sobre a tecnologia TAE, onde ficam claros parâmetros como a instabilidade de afinação e a variação do ponto de início do ciclo da onda e características dos filtros (VALAX, 2016, p.14-16). Estas são características da arquitetura dos sintetizadores analógicos presentes nos órgãos elétricos, em especial nos que utilizam osciladores. Nos sintetizadores analógicos, os osciladores trabalham continuamente assim que o circuito é energizado, ficando para o VCA a função de soar ou não as notas. Desta forma, toda vez que o gatilho é disparado, o ciclo do oscilador se encontrará em uma posição diferente, que raramente coincide com o repouso completo, gerando um pico elétrico repentino. Mark Vail descreve este mesmo efeito no funcionamento dos órgãos Hammond, denominando-o de *key click* (2002, p.33). Esta característica impacta na maneira como os organistas interagem com o instrumento, conforme destaca o pesquisador Alan Young, sobre a relevância do *key click* na execução musical:

A maioria dos profissionais não têm ideia de quais tecnologias estão envolvidas no Hammond; eles apenas gostam. Acontece que, quando a nova tecnologia eliminou completamente o *key click*, os profissionais disseram: 'o que aconteceu com a articulação'? Parte do que fez os órgãos Hammond desejáveis aos profissionais que tocavam música popular era a proeminência do ataque. E eles contestaram quando ele foi eliminado (*apud* VAIL, 2002, p.33).

Os filtros, por sua vez, desempenham uma função vital nos órgãos que utilizam osciladores. Comumente, os osciladores utilizados nestes órgãos apresentam um padrão cíclico de ondas quadradas (HANLEY, 2010, p.14). De acordo com Dean Friedman, estes osciladores são fáceis de ser fabricados, pois, do ponto de vista da eletrônica, tratam-se apenas da alternância entre o ligar e desligar de um sistema (1985, p.16). Outra característica importante deste padrão cíclico é a presença apenas de harmônicos ímpares. Quando a onda quadrada é filtrada drasticamente por um filtro passa-baixa, é possível deixá-la apenas com o harmônico fundamental, resul-

tando em uma onda senoidal. No manual de instruções da extensão *Vintage Organs*, Adam Hanley especifica que o seu som não era produzido por meios eletromecânicos e, assim como outros órgãos que utilizam osciladores, o seus sons são “produzidos pela filtragem de uma onda quadrada, com cada tecla tendo seu próprio oscilador e circuito de filtro” (2010, p.14). Porém, os filtros não agem de maneira abrupta a partir da frequência de corte estabelecida, gerando assim resultados apenas próximos ao esperado e deixando resquícios da onda original. É o caso dos filtros analógicos presentes no órgão Yamaha Electone E-10AR. Neste caso, a utilização do ciclo quadrado dos osciladores é novamente justificada, já que a onda quadrada leva vantagem sobre as outras por não ter o segundo harmônico, auxiliando na simulação de ondas senoidais.

Por último, o manual do software Modular V ainda apresenta comparações da simulação com amostras do instrumento real por espectro de frequência e por osciloscópio, atestando visualmente a eficiência da simulação (VALAX, 2016, p.13-16).

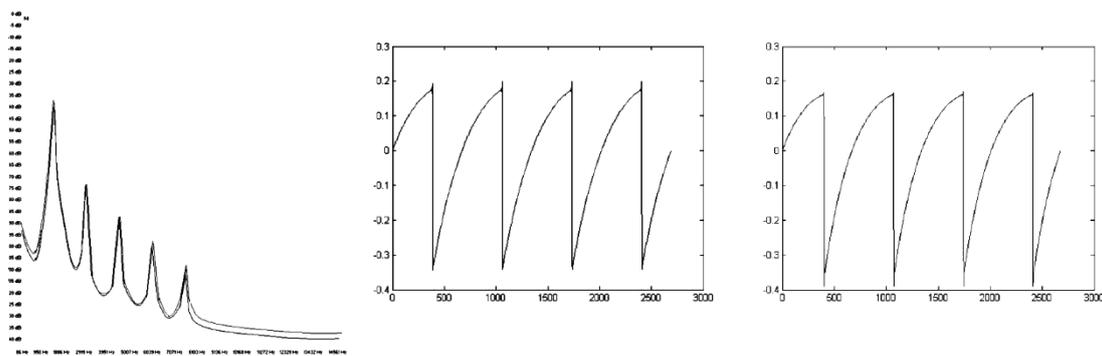


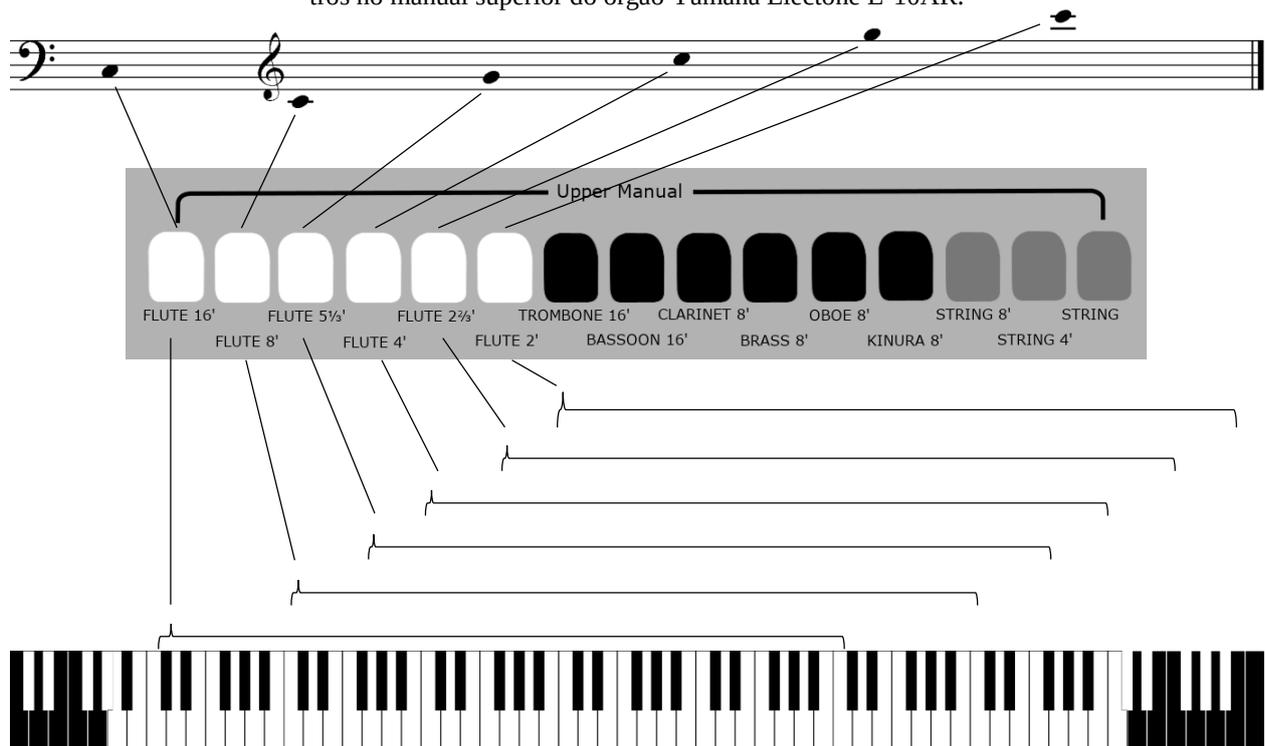
Figura 09 – Comparativos entre o instrumento real e a simulação feita com a tecnologia TAE da Arturia. Da esquerda para a direita, uma comparação de filtros, ao centro uma onda dente-de-serra, do instrumento original e, à direita a simulação da mesma onda (VALAX, 2016, p.14-15).

As descrições dos órgãos virtuais VB3 e B4-II nos manuais de instruções apontam três outras características dos órgãos elétricos, importantes de serem observadas para a simulação: a ativação sucessiva de cada registro à medida que a tecla é pressionada (GENUINE SOUNDWARE AND INSTRUMENTS, p.5), a abrangência e a disposição das notas de cada registro nos manuais (GROOSE, 2004, p.74-75). Estas características contribuem para a veracidade da simulação. Assim, foram definidas duas etapas para a análise: a observação das características do instrumento e a observação das características das amostras.

Os três parâmetros citados nos manuais de instrução dos órgãos VB3 e B4-II foram observados durante a captura das amostras do Yamaha Electone E-10AR: a ativação sucessiva dos registros conforme o pressionamento das teclas se demonstrou única a cada uma delas. Já a abrangência e a disposição das notas dos registros no manual superior, se deu da seguinte forma: julgando o Dó central do piano como Dó3 (sendo Lá3=440Hz), o registro FLUTE 2' abrange as

notas Dó3 a Si7, sendo a última tecla uma repetição do Dó7. O registro FLUTE 2^{2/3}' abrange as notas Sol2 a Sol7, o registro FLUTE 4' abrange as notas Sol2 a Dó7, o registro FLUTE 5^{1/3}' abrange as notas Sol1 a Sol6, o registro FLUTE 8' abrange as notas Dó1 a Dó6 (as teclas Sol^b1 a Dó2 do órgão não funcionavam durante a captura) e por fim, o registro FLUTE 16' abrange as notas Dó0 a Dó5. As notas foram confirmadas posteriormente com a utilização do analisador de espectro sonoro e afinador.

Figura 10 –Sonoridade correspondente quando a tecla Dó3 é pressionada e abaixo a abrangência das notas dos registros no manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR.



Para a segunda etapa, a observação das amostras do órgão Yamaha Electone E-10AR, foram definidas quatro ferramentas virtuais: os analisadores por espectro de frequência Fre(a)koscope, de mdsp@Smartelectronix, e FreqAnalyst, da empresa francesa Blue Cat Audio, o osciloscópio do *software* Audacity e o afinador GTune, do site GVST. As quatro ferramentas foram utilizadas como extensões no programa Cakewalk, da empresa BandLab. Os programas citados acima são distribuídos e disponíveis para uso gratuito¹⁹ por seus fabricantes, que, juntamente à eficiência técnica, foi uma importante característica na escolha das ferramentas utilizadas neste trabalho.

Para a continuação da análise, foram utilizados os analisadores de espectro de frequência Fre(a)koscope, de mdsp@Smartelectronix, e FreqAnalyst, da Blue Cat Audio, tendo como

¹⁹ Gratuitos no sentido da liberdade de execução, não necessariamente das outras três liberdades dos *softwares* livres, de acesso ao código fonte, modificação e distribuição irrestritas (FREE SOFTWARE FOUNDATION).

base a comparação das amostras do órgão com amostras de formas de onda puras, geradas pela extensão *HQ-Tone* do *software* Audacity. Pela disposição dos harmônicos no espectro de frequência, pode-se constatar o padrão cíclico do oscilador, bem como os filtros utilizados pelo órgão original. Também foi observada a amplitude do harmônico fundamental de cada nota dos registros, de cada um dos três microfones, bem como ruídos e distorções que não pertenciam ao instrumento original. Os osciladores do órgão Yamaha Electone E-10AR apresentaram semelhanças à amostra de onda quadrada quando filtrada por um filtro passa-baixa (Figura 11), confirmando uma arquitetura de geração de som similar aos órgãos Vox Continental (HANLEY, 2010, p.14). Pela análise por espectro de frequência também foi possível observar que os filtros de passa-baixa apresentaram qualidades diferentes nos registros agudos e graves. Foi possível observar a qualidade média de -24 dB/oitava, porém, há um decaimento abrupto que chega a -32 dB/oitava nos registros mais agudos, enquanto nos registros mais graves, de $5^{1/3}'$, $8'$ e $16'$, o decaimento é menos incisivo (Figura 12). Partindo do registro $5^{1/3}'$ até os mais graves, há uma constante presença de harmônicos pares, em especial o segundo harmônico. A presença dos harmônicos pares poderia indicar o ciclo dente-de-serra dos osciladores (RUSS, 2009, p.111), porém, estes harmônicos não aparecem em todas as notas e, quando aparecem, estão em intensidade geralmente menor do que os harmônicos ímpares. Já os harmônicos ímpares são constantes em toda a análise das notas, chegando a abranger harmônicos acima da 11ª ordem, o que os diferencia do ciclo triangular e reforçam a correspondência ao ciclo quadrado dos osciladores (*ibidem*, p.110). Dean Friedman aponta semelhanças da onda triangular com as ondas quadrada e senoidal: “(...) seu formato tem relação com a onda senoidal (...), com certa ênfase na fundamental. Mas como a onda quadrada, a onda triangular contém apenas harmônicos ímpares, porém em diferentes proporções (...)” (1985, p.17). Assim, os harmônicos pares presentes nas amostras coletadas do órgão eletrônico Yamaha Electone E-10AR são indicativos de distorção do amplificador. A constante presença dos harmônicos pares, principalmente segundo e quarto, são indicativos de distorção de válvulas, uma vez que, de acordo com o engenheiro Russell O. Hamm, “(...) a maior característica de um amplificador valvulado é a forte presença de segundo e terceiro harmônicos, às vezes combinados com o quarto e o quinto, mas sempre em maior amplitude” (1974, p.271).

Figura 11 – Comparação das amostras por espectro de frequência. Acima a onda quadrada pura de 440 Hz, gerada pela extensão *HQ-Tone* do *software* Audacity. Abaixo a amostra da tecla Lá3 do registro de flauta de 8' do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR, captado pelo microfone do *woofer*. Em destaque os harmônicos pares, gerados pela distorção do amplificador do órgão original.

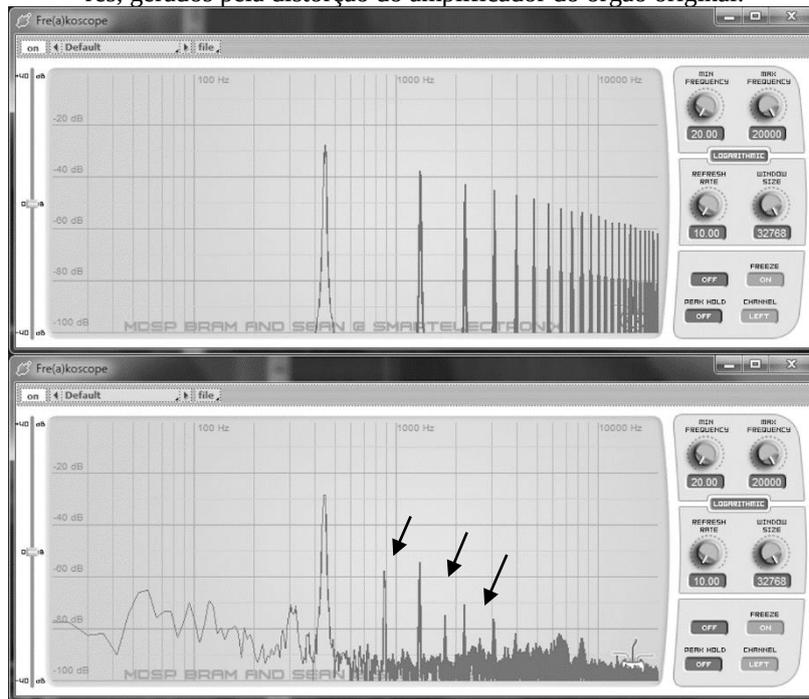
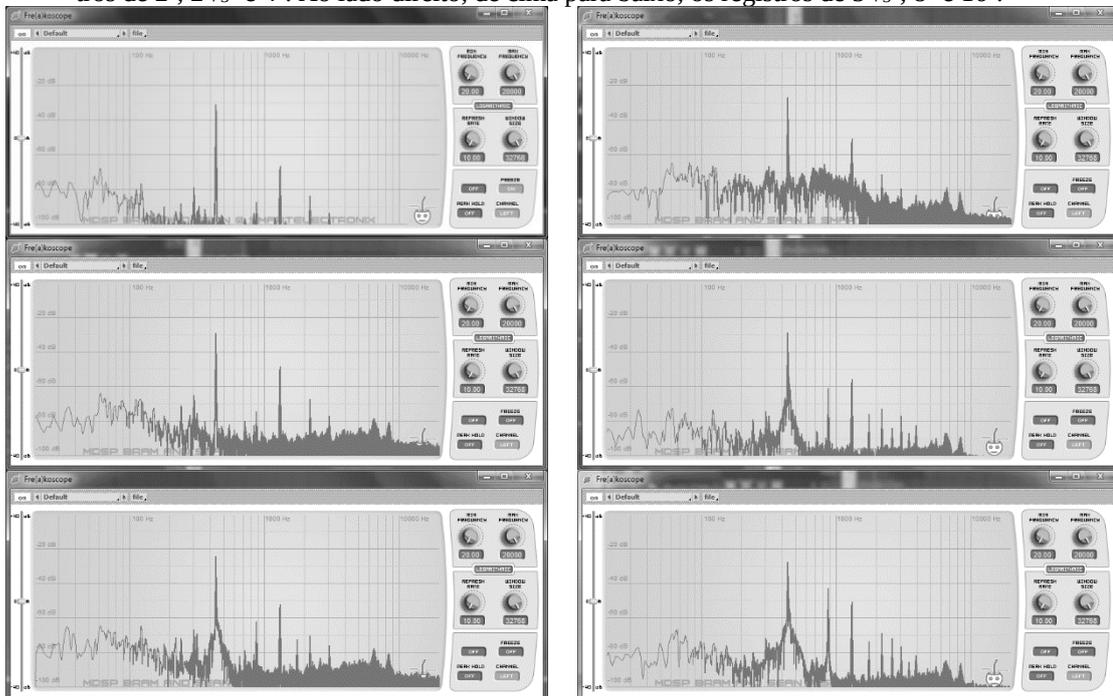


Figura 12 – Análise de espectro demonstrando a ação dos filtros do órgão Yamaha Electone E-10AR sobre a nota Lá3, de 440 Hz, em todos os registros de flauta do manual superior. Ao lado esquerdo, de cima para baixo, os registros de 2', 2¹/₃' e 4'. Ao lado direito, de cima para baixo, os registros de 5¹/₃', 8' e 16'.



A seguir, foi utilizado o osciloscópio do *software* Audacity, para analisar as amostras capturadas. Com esta ferramenta foi possível constatar características do resultado sonoro da soma do padrão da variação cíclica de tensão gerada pelos osciladores do órgão com seus respectivos filtros, assim como o ataque e o repouso das amostras (partindo do momento em que a tecla

foi pressionada e posteriormente solta) e a posição inicial e final do ciclo, a partir que o gatilho do VCA é ativado (Figura 13). O Yamaha Electone E-10AR gera o seu som de maneira similar aos órgãos Vox Continental, o que reforça as características encontradas na análise por espectro de frequência. O resultado sonoro das amostras demonstra um aspecto similar às ondas senoidais, com sutis diferenças, perceptíveis principalmente nas notas mais graves. Outra característica também ressaltada pela análise foram as leves alterações do padrão das notas mais graves quando comparado as mais agudas, confirmando as características de distorção do amplificador, demonstradas pela análise por espectro de frequência.

Figura 13 – Visualização do osciloscópio da amostra da nota Lá3 do registro de flauta de 8', captada pelo microfone voltado ao *woofer*. De cima para baixo, a visualização geral da amostra, com destaque para o *key click*. Abaixo o transiente inicial da amostra e, por último, o transiente final e logo após, a cauda da reverberação do ambiente.

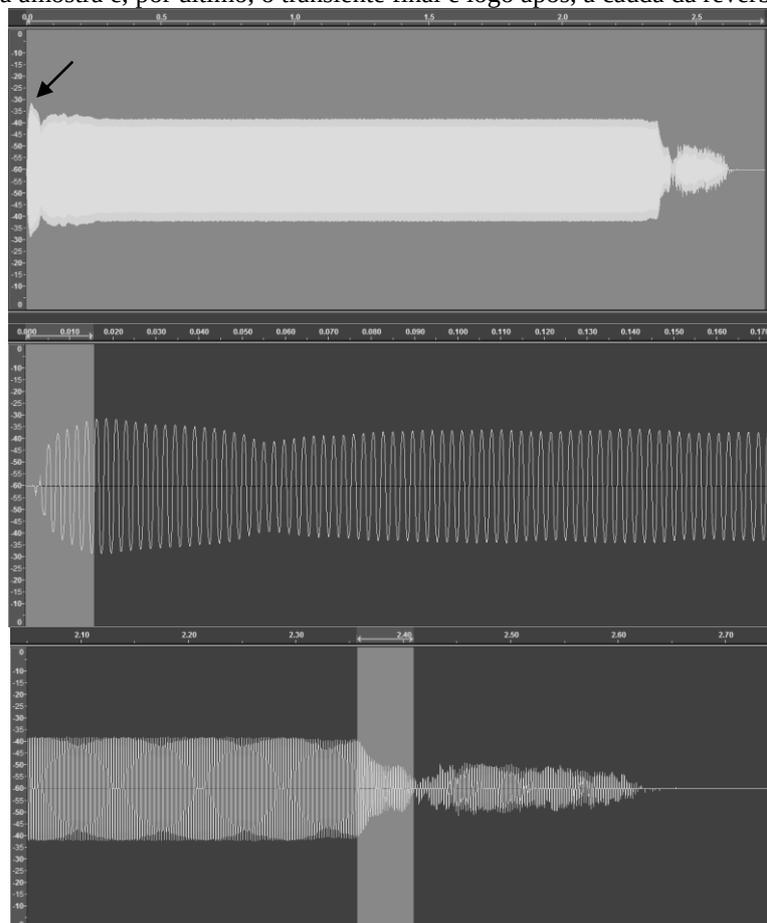
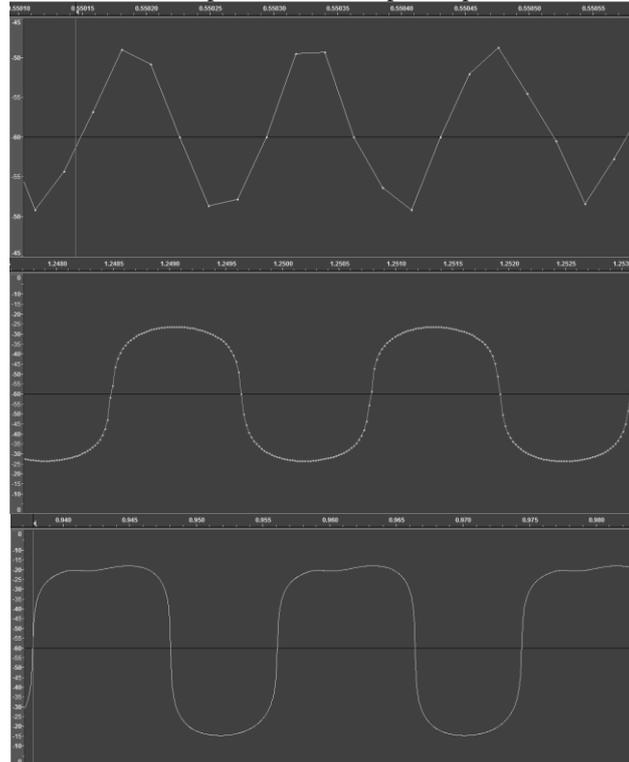


Figura 14 – De cima para baixo, visualizações por osciloscópio das formas de onda das notas Lá7, Lá3 e Lá0, dos registros de flauta de 2', 8' e 16' respectivamente, captadas pelo microfone voltado ao woofer.



Na última etapa, foi utilizado o afinador GTune para medir a manutenção da afinação das notas no decorrer das amostras, bem como a frequência do harmônico fundamental de cada uma delas. Em geral, as amostras do Yamaha Electone E-10 AR apresentaram uma afinação média de $A3=436,60$ Hz. Um pouco abaixo da afinação padrão de $A3=440$ Hz. O GTune apresenta uma medida em porcentagem para demonstrar desafinação das notas, onde 0% representa a frequência da nota no temperamento igual, e os valores de 100% e -100% representam as próximas nota mais aguda e mais grave, respectivamente. A análise da afinação das amostras ainda apontou um temperamento de afinação similar ao temperamento igual (tabela 1) e a presença de flutuações na afinação de 1% em média.

Tabela 01 - Temperamento do órgão Yamaha Electone E-10AR

Nota	Diferença do temperamento igual (%)
Dó	5
Dó [#]	2
Ré	-3
Mi ^b	0
Mi	-2
Fá	0
Sol ^b	0
Sol	3
Lá ^b	0
Lá	0
Si ^b	1
Si	-2

3. SIMULAÇÃO DAS AMOSTRAS EM AMBIENTE VIRTUAL

3.1 Descrição do *software* utilizado para a simulação

O *software* Kontakt 5, da empresa alemã Native Instruments, foi escolhido para a simulação pela sua capacidade de programação de alto nível (isto é, não exige que o usuário lide diretamente com códigos de programação) e pela flexibilidade na utilização e interação de todas as suas funções (NATIVE INSTRUMENTS GMBH, 2013, p.15). O Kontakt 5, é um instrumento virtual que mescla os recursos de um sintetizador com as funcionalidades de um *sampler*. Ele contém os parâmetros encontrados em sintetizadores, porém, ao invés de osciladores, o *software* utiliza amostras de áudio como fonte sonora. Martin Russ define o *sampler* como um instrumento que permite gravar e reproduzir amostras de áudio (2009, p.316-317). Desta forma, o Kontakt 5 se distancia desta definição, por não ter a habilidade de gravar amostras de som externas. A arquitetura do *software* utiliza grupos (NATIVE INSTRUMENTS GMBH, 2013, p.143), com cadeias individuais de efeitos e com parâmetros que permitem manipular a reprodução das amostras. Tudo com controles que podem ser ajustados de maneira independente de um grupo para o outro. Os grupos têm os seus sons somados em outra cadeia de efeitos, formando assim um instrumento (Figura 15). Seu painel permite a utilização de até 64 instrumentos ou bancos de instrumentos (que acolhem 128 instrumentos cada, porém, apenas um por vez (*ibidem*, p.82)) simultâneos (*ibidem*, p.60). O Kontakt 5 permite o controle de volume, afinação e andamento geral dos instrumentos abertos no programa (*ibidem*, p.85), além de disponibilizar 16 saídas de áudio (*ibidem*, p.139) e a utilização de até quatro controles MIDI externos (*ibidem*, p.20-21). O Kontakt 5 ainda apresenta uma ferramenta para a elaboração de programações em modo texto, em linguagem própria, chamados de *scripts* (*ibidem*, p.204). Os *scripts* podem afetar os comandos MIDI externos recebidos pelo *software*, assim como controlar parâmetros dos grupos, instrumentos e efeitos, ampliando a gama de possibilidades de programação ao usuário.

Scripts no Kontakt trabalham como pequenos programas que se conectam à maneira do Kontakt processar notas, dados do controlador e ações do usuário, permitindo-os mudar parâmetros de instrumento e dados MIDI de maneira programacional. Um exemplo muito simples seria um *script* que altera as notas MIDI recebidas, transpondo-as uma oitava acima, ou criando uma segunda voz que segue em oitavas; *scripts* mais complexos, todavia, podem prover qualquer coisa, de ambientes de sequenciadores poderosos a simulações realistas da articulação humana de um instrumento (NATIVE INSTRUMENTS GMBH, 2013, p.204).

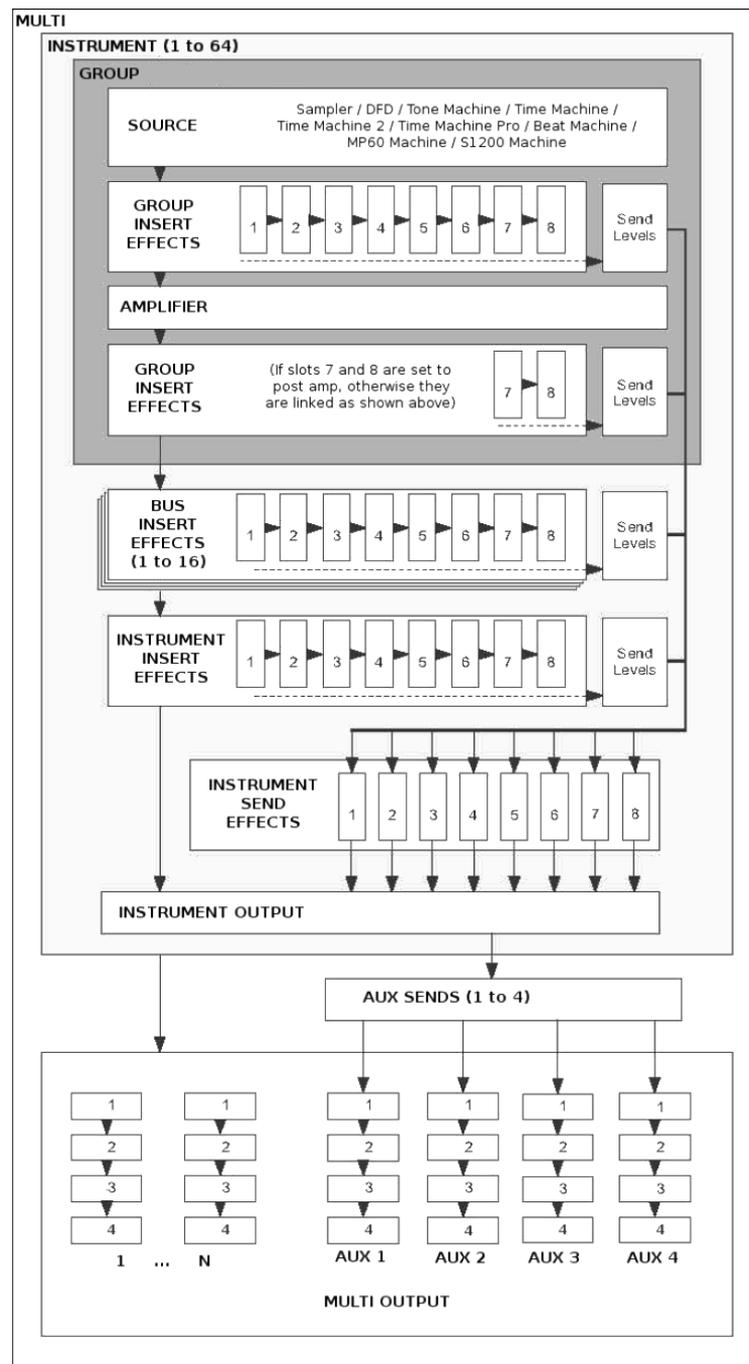


Figura 15 – Organograma do caminho do sinal de áudio dentro do programa Kontakt 5 (NATIVE INSTRUMENTS GMBH, 2013, p.222).

O desenvolvimento da simulação do registro de flautas do manual superior do Yamaha Electone E-10AR também seria possível em outros *softwares*, como Pure Data, Max/MSP, Reaktor etc., porém, o desenvolvimento desta simulação demandaria um conhecimento profundo do programa a ser utilizado. Assim, o maior motivo da escolha do Kontakt 5 foi a familiaridade do autor com esta ferramenta. Como este instrumento utiliza amostras sonoras como fonte sonora, foram geradas amostras de notas Lá em diversas oitavas em um *software* externo. Essas amostras serviram de matriz para a formação de todas as outras notas. Ao todo foram geradas oito amostras de notas Lá em diferentes oitavas no *software* Audacity, utilizando a extensão HQ-

Tone. A extensão permitiu ao Audacity gerar amostras livres de *aliasing*²⁰, em 192 kHz/32 bits e com a duração de quatro segundos. Ao final do processo, as amostras foram endereçadas no Kontakt 5 como zonas no editor de mapeamento (*mapping editor*) (NATIVE INSTRUMENTS GMBH, 2013, p.153-157) e configuradas de modo a abranger toda a extensão necessária a cada grupo (Figura 16). Ao todo, as zonas cobriram a extensão do Dó0 ao Si7.

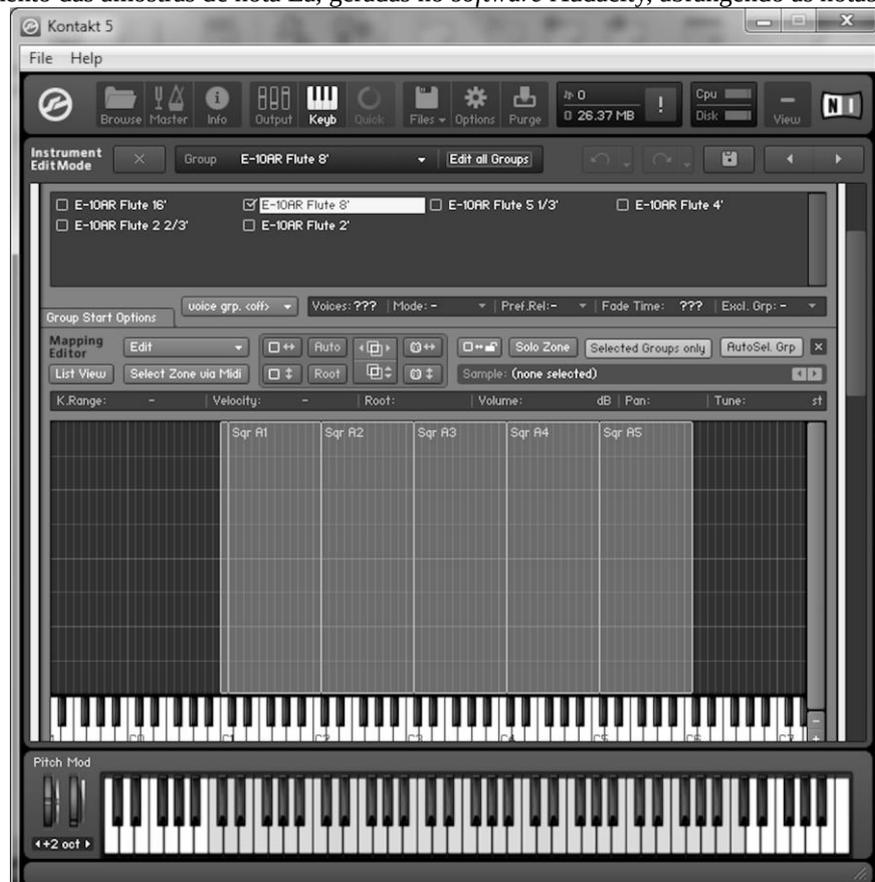
Ao todo, foram criados seis grupos com as amostras, representando cada um deles um registro do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR, respeitando a disposição e a abrangência de cada um. Cada amostra foi programada para que o ponto de partida da execução fosse aleatório e para simular o funcionamento contínuo dos osciladores do órgão original. Os grupos receberam geradores de envelope individuais, filtros que se aproximassem aos utilizados pelos registros do órgão original e, nos grupos mais graves, distorções para simular a distorção do amplificador do Yamaha Electone E-10AR. Na cadeia de efeitos do instrumento, foi utilizado um equalizador paramétrico de três bandas para simular a média aritmética das intensidades captadas pelos três microfones, o efeito *rotator*, para simular o alto-falante giratório JA1701B interno do órgão original, e o efeito de reverberação, para simular as reflexões do som no ambiente do estúdio sala 114 do Departamento de Artes da Universidade Federal do Paraná. Ao final, foram adicionadas automações que respondessem aos controles de um controlador MIDI e incrementos estéticos na parte visual do instrumento virtual.

3.2 Simulação do registro de flautas do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR no software Kontakt 5

Dentro do Kontakt 5, cada uma das amostras criadas no Audacity (doravante amostras puras) tiveram seu comportamento em *loop*, para que as notas soassem indeterminadamente, como no órgão original. Os seis grupos criados para simular os registros do órgão receberam cada um suas respectivas amostras puras, indicadas como zonas dentro do editor de mapeamento do Kontakt 5, respeitando a abrangência e a disposição das notas de cada registro de flautas do manual superior do Yamaha Electone E-10AR (Figura 10). Dentro dos grupos, as amostras foram programadas para abranger uma oitava inteira, assim, criando as outras notas que não fossem apenas o Lá (Figura 16). Os grupos tiveram a qualidade de reprodução alterada de baixa para alta, para reduzir o efeito de *aliasing*.

²⁰ Aliasing: Quando alguma frequência é mais alta do que as possibilidades de reprodução da taxa de amostragem, a resultante se torna aparentemente mais grave do que a frequência original (RUSS, 2009, p.62).

Figura 16 – Editor de mapeamento do Kontakt 5. Acima os grupos que simulam individualmente os registros do manual superior do órgão Yamaha Electone E-1AR. Em destaque o registro de flauta de 8’ e, logo abaixo, o endereçamento das amostras de nota Lá, geradas no *software* Audacity, abrangendo as notas Dó1 a Dó6.



Após definir a abrangência e a disposição das amostras, os grupos foram programados para iniciar a reprodução em pontos aleatórios de suas extensões a cada vez que forem ativados, simulando o funcionamento contínuo dos osciladores do órgão Yamaha Electone E-10AR. Para isso, foi utilizada a função de modulação *random unipolar*. O Kontakt 5 tem ferramentas de modulação que permitem a mudança automática de valores dos parâmetros. “A maior parte dos módulos do Kontakt oferecem uma aba chamada roteador de modulação, que te permite atribuir várias fontes de sinais de modulação para aqueles parâmetros respectivos do módulo” (NATIVE INSTRUMENTS GMBH, 2013, p.302). A função *random unipolar* é uma das ferramentas de modulação do Kontakt 5 que tem efeito sobre o sinal MIDI recebido pelo *software*, gerando um valor de zero a um à cada nota recebida (*ibidem*, p.321). Esta função foi utilizada com intensidade de 10% em média sobre o ponto de partida da reprodução das amostras (*sample start*). Logo após, cada grupo recebeu individualmente um gerador de envelope, para reproduzir as características de execução e duração das notas do órgão original. Para realizar esta simulação, foram utilizados os geradores de envelope AHDSR (ataque, retenção, decaimento, sustentação e relaxamento, ou *Attack, Hold, Decay, Sustain and Release*) disponíveis no Kontakt 5. Este envelope tem a peculiaridade de ter um estágio adicional de retenção (*hold*), que permite definir um tempo

fixo em “(...) que o envelope ficará no seu nível máximo depois de ter completado a fase de ataque e antes que entre na fase de decaimento” (*ibidem*, p.310-311). Os envelopes AHDSR foram configurados 0ms, nas fases de ataque e relaxamento, e sustentação em 0 dB. Devido a estas configurações, as funções de curva, suspensão e decaimento não exercem função alguma. Ao unir as simulações de ponto de partida das amostras e dos geradores de envelope, obteve-se o característico *key click* descrito por Mark Vail no livro *Beauty in the B* (2002, p.33). O início abrupto do envelope de ataque somado a não coincidência da amostra a um ponto de relaxamento completo força o amplificador a exercer uma amplitude em que não está apto a entregar, gerando o ruído característico do órgão original. Com o ataque e o relaxamento no tempo mínimo, o efeito ocorre tanto no pressionar quanto no soltar das teclas.

Para simular a abertura sucessiva dos registros no decorrer do percurso das teclas, foi atribuída a identificação do *velocity* ao ataque do envelope AHDSR. *Velocity* é uma informação enviada por MIDI que identifica a expressão de intensidade com que as teclas são tocadas. Esta informação é medida pela diferença de tempo entre dois sensores de um controlador MIDI, dispostos no percurso das teclas (RUSS, 2009, p.487). Em seguida, para não reduzir drasticamente o efeito do *key click*, o parâmetro de curva do envelope foi alterado para 100 e o ataque foi alterado para 39 ms (GENUINE SOUNDWARE AND INSTRUMENTS, p.05). O *velocity* teve intensidade de 100% sobre o parâmetro de ataque e foi utilizado em modo invertido, fazendo com que uma maior intensidade gerasse um ataque mais rápido (0ms) e uma menor intensidade em um ataque mais lento (39ms). Para simular a ativação dos contatos dos registros pelo percurso das teclas, foi adicionado ao roteador de modulação de cada envelope AHDSR o parâmetro *random unipolar*, com intensidade de 60% sobre o ataque, para que cada registro tenha tempos de abertura diferentes um dos outros. A cada um dos seis grupos foi ainda conferido um oscilador de baixa frequência (LFO) de ciclo aleatório, com 0,02 semitom de atuação sobre a afinação, para simular as flutuações de afinação do instrumento original (NATIVE INSTRUMENTS GMBH, 2013, p.314-317). Para a simulação do temperamento, foi utilizado o *script Microtuning*, na primeira das quatro posições do editor de *script* do Kontakt 5, utilizando os parâmetros encontrados na análise de afinação (Tabela 1).

O filtro do órgão Yamaha Electone E-10AR apresentou comportamentos diferentes em cada um dos registros. Para simular esta característica no Kontakt 5 foram utilizados três filtros passa-baixas com características diferentes: o filtro Legacy LP6, de -36 dB/oitava, nos grupos de 2', 4' e 5^{1/3}', o filtro SV LP4, de -24 dB/oitava, no registro 2^{2/3}', e o filtro Pro-53, de -24 dB/oitava, nos grupos de 8' e 16'. Além do primeiro filtro, que apresenta uma curva de atenuação de -36 dB/oitava, os outros filtros apresentam curvas de atenuação sucessivamente menos abruptas e com um comportamento dentro da curva de -24 dB/oitava (Figura 17).

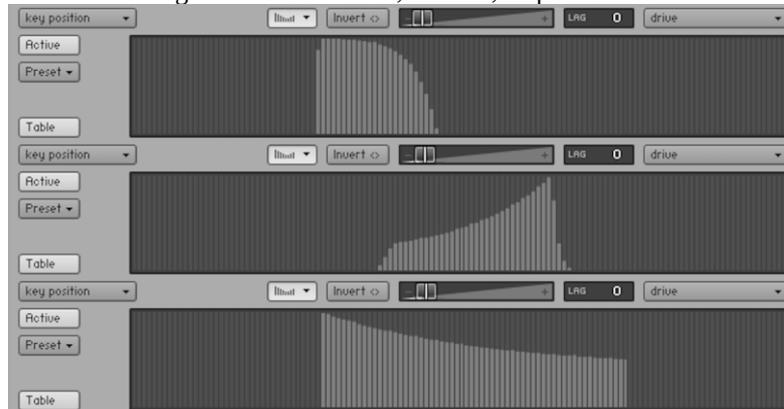


Figura 17 – Filtrros de passa-baixa do Kontakt 5 utilizados na simulação. De cima para baixo, o filtro LP6, SV LP4 e Pro-53 (NATIVE INSTRUMENTS GMBH, 2013, p. 274-276).

Cada um destes filtros teve a sua frequência de corte atrelada à posição do teclado, para que tivessem uma ação correspondente a cada região do manual superior do órgão original, seguindo as seguintes porcentagens e posições centrais da frequência de corte: 6,2% e 1,9 kHz no registro de 2', 8,4% e 823,9Hz no de 2²/₃', 8,3% e 728,1 Hz no de 4', 10% e 723,6 Hz no de 5¹/₃' 7,8% no e 382,6 Hz no de 8', e 7,3% e 312,3 Hz no registro de 16'. Essas porcentagens e pontos centrais da frequência de corte dos filtros tiveram como parâmetro a sonoridade da tecla Sol^b3 do teclado (tecla central de um teclado de 61 teclas), bem como a nota mais aguda (Dó6) e a mais grave (Dó1), comparando alternadamente a visualização do espectro da frequência entre a gravação do órgão original e a simulação. A programação dos filtros aproximou a sonoridade e a visualização por espectro de frequência do instrumento real ao instrumento virtual, porém, ainda sem a presença de harmônicos pares. Como detectado anteriormente, estes harmônicos são gerados no órgão original pela distorção do amplificador. Assim, para simular esta característica, foi utilizado o efeito de distorção do Kontakt 5, aplicados individualmente nos grupos 4', 8' e 16'. Os efeitos de distorção foram posicionados para o modo válvula, que de acordo com o manual de instruções do Kontakt 5, tem a característica de “criar uma saturação branda, que enfatiza os harmônicos pares (...)” (NATIVE INSTRUMENTS GMBH, 2013, p.248). Para a definição dos parâmetros dos efeitos de distorção, foi utilizado o *software* de análise de espectro de frequência fre(a)koscope. As distorções dos três grupos (4', 8' e 16') tiveram o botão de atenuação na posição máxima de 100,0, para reduzir o brilho dos harmônicos gerados artificialmente (*ibidem*, p.249). Estes efeitos também receberam uma posição inicial do botão de *drive*, nos valores de 1,8, 0 e 0 para os grupos 4', 8' e 16' respectivamente. Estes valores de *drive* tiveram a sua intensidade controlada pela posição das notas tocadas, que alteraram o valor inicial em 1,8%, 1,5% e 1% respectivamente. Cada um desses valores de alteração do botão de *drive* seguiu um mapeamento próprio das teclas, elaborados de acordo com a intensidade da distorção observada nas amostras. No registro de flauta de 4' do órgão, as distorções aparecem entre as notas Dó2 e Mi4, com maior proeminência na região da nota Lá3 para as notas mais graves. No registro de flauta de 8', as distorções começam a aparecer a partir da nota Dó2 e deixa de aparecer na região da nota Lá4, com maior intensidade nas notas acima do Mi4. No registro de

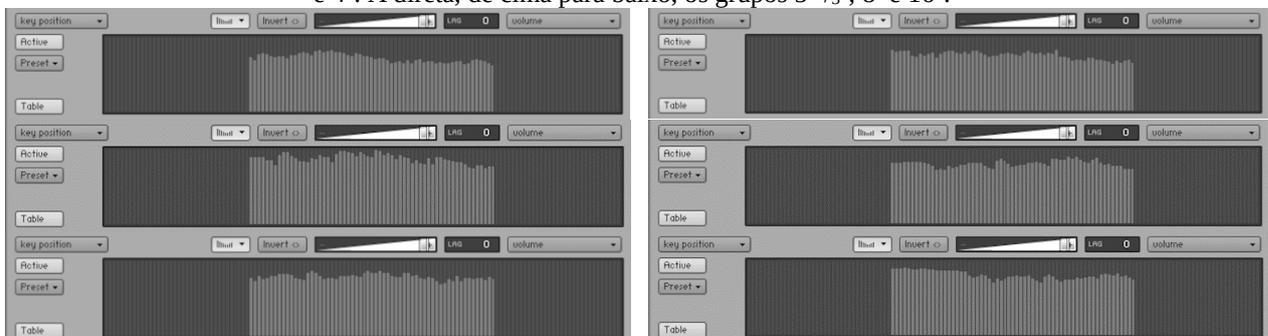
flauta de 16', a distorção já aparece na nota Dó0, indo até a última nota do registro, o Dó5. Neste registro, a distorção é maior nas notas mais graves e menor nas mais agudas (Figura 18).

Figura 18 – Modificadores dos valores de *drive*, de acordo com a posição das teclas. De cima para baixo, o mapa do registro de flauta de 4', 8' e 16', respectivamente.



Após a simulação do funcionamento interno do órgão Yamaha Electone E-10AR, fatores externos como a simulação da curva de equalização gerada pela soma dos microfones com os alto-falantes do órgão original, a simulação do alto-falante rotatório interno e a simulação do ambiente do estúdio da sala 114 do Departamento de Artes da Universidade Federal do Paraná, passaram a ser programados no Kontakt 5. Para a simulação da curva de equalização dos microfones dos alto-falantes do órgão, optou-se por averiguar a intensidade de cada uma das amostras do órgão e fazer a média aritmética dos resultados obtidos pelos três microfones Sony C-48. A curva de equalização resultante foi reproduzida pelo controle do parâmetro de volume de cada grupo, alterado pela posição das teclas e com valores individuais para cada nota, em intensidade de 100% (Figura 19).

Figura 19 – Modificadores dos valores de volume de cada grupo. À esquerda, de cima para baixo, os grupos 2', 2 ²/₃' e 4'. À direita, de cima para baixo, os grupos 5 ¹/₃', 8' e 16'.

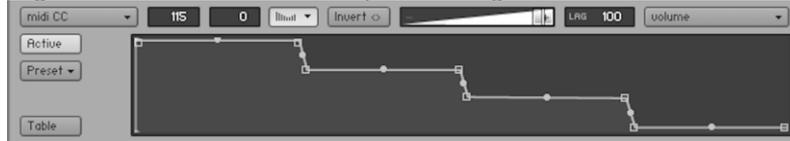


O alto-falante rotatório interno do órgão original, foi simulado com o efeito *rotator* do Kontakt 5 (*ibidem*, p.252), que ocupou a primeira das oito posições dos efeitos gerais do instrumento. Os valores dos parâmetros deste efeito foram obtidos pela comparação da

simulação com gravações de testes da caixa rotatória do órgão Yamaha Electone E-10AR, realizadas no dia da captura das amostras. Os valores obtidos foram: aceleração das cornetas 18, aceleração do *woofer* 20, balanço 36% (pendendo mais para o *woofer* que para as cornetas), distância 0% (microfones próximos dos alto-falantes), sinal do efeito em 100% (nada do sinal original foi mesclado ao som passado pelo efeito), e sinal de saída em 0 dB. Para a simulação do ambiente do estúdio em que o instrumento original estava localizado, foi utilizado o efeito de reverberação do Kontakt 5, inserido na segunda posição de efeitos do instrumento (*ibidem*, 268-269). Como parâmetro de comparação, foram utilizadas amostras do ambiente, geradas no dia da captação das amostras do Yamaha Electone E-10AR, com os microfones nas posições já mencionadas. Os valores obtidos foram: *pre-delay* 0 ms, tamanho do ambiente simulado 55, coloração 50, absorção 0, distribuição no panorama estéreo 0, sinal original 0 e sinal processado em -4.3.

Para que os controles da simulação funcionassem de forma análoga ao órgão original, foi necessário endereçar comandos MIDI aos parâmetros correspondentes na simulação. Para isto, foi utilizado o endereçamento de controles MIDI conhecidos como *Control Change (CC)*. Estas são “mensagens enviadas quando um controle do painel é movimentado. A especificação MIDI permite 128 tipos de mensagens de controles. Estes às vezes são referidos como *Continuous Controllers (CC0 a CC127)*” (NOVATION ELECTRONIC MUSIC SYSTEMS LTD, 2004, p.12). Um teclado Novation X-Station foi utilizado como controlador MIDI, com dois acessórios: um pedal de sustentação Yamaha FC5 e um pedal de expressão Yamaha FC7. Para simular o pedal de expressão do órgão Yamaha Electone E-10AR, foi utilizada a automação do parâmetro de volume dos grupos, atribuindo seu controle ao CC11, que é destinado ao pedal de expressão. Neste caso, o pedal Yamaha FC7, conectado à entrada *expression* do Novation X-Station. Cada um dos grupos que simulam os registros teve o seu volume do amplificador atrelado individualmente a um controle deslizante no painel geral do instrumento, que por sua vez também foi atrelado a um controle MIDI individual, sendo: FLUTE 16’ ao CC108, FLUTE 8’ ao CC109, FLUTE 5¹/₃’ ao CC110, FLUTE 4’ ao CC111, FLUTE 2²/₃’ ao CC114 e FLUTE 2’ ao CC115. Cada um destes controles deslizantes tiveram seus percursos alterados para funcionar de maneira similar às chaves de quatro estágios que controlam a intensidade dos registros no órgão original, com passagens suaves entre os estágios. Os controles ainda receberam a suavização de 100 ms, para uma transição ainda menos abrupta entre os estágios (Figura 20). Por fim, o controle de velocidade do efeito *rotator* recebeu dois comandos: CC1, para o controle pela alavanca de modulação, e CC64, para o controle pelo pedal de sustentação Yamaha FC5, ligado à entrada *sustain* do Novation X-Station. Também foi adicionado o controle ligar e desligar o efeito *rotator*, atrelado ao CC32.

Figura 20 – Alteração do percurso dos controles deslizantes, simulando as chaves de quatro estágios que controlam os registros de flautas do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10AR.



Por último, foram atribuídas à simulação referências visuais ao órgão original, tais como o tecido que recobre os alto-falantes na parte inferior do instrumento, a textura da madeira do móvel, bem como a tipografia utilizada no painel do Yamaha Electone E-10AR (NATIVE INSTRUMENTS GMBH, 2013, p.72).

Figura 21 – Interface criada pelo autor para a simulação do conjunto de flautas do manual superior do órgão Yamaha Electone E-10 AR no software Kontakt 5.



3.3 Comparação entre a simulação e as amostras do órgão original

Desde o surgimento dos instrumentos digitais, na década de 1970, estes recebem a fama de terem uma sonoridade fria e estática. Com o desenvolvimento das capacidades de armazenamento e processamento, na década de 1990 as características das contrapartes analógicas começaram a ser simuladas, diminuindo a sensação de estranheza (RUSS, 2009, p.291-293). Como dito anteriormente, a popularização dos computadores pessoais e a virtualização dos equipamentos de estúdio possibilitou incluir ainda mais detalhes nestas simulações. Empresas como a Arturia, a GSi e a Native Instruments, investiram em pesquisas nesta área, obtendo resultados similares aos instrumentos originais.

O resultado sonoro da simulação desenvolvida, quando comparado às amostras do órgão Yamaha Electone E-10AR, apresentou diferenças sutis, dada a natureza dos dois instrumentos, que não compartilham totalmente das mesmas características. Por se tratar de um instrumento de circuito analógico, o órgão original apresenta aspectos instáveis e não lineares. Certas características como ruídos e distorções foram diretamente afetadas na simulação, além da falta de interferências elétricas encontradas nas amostras do órgão original e o ruído constante dos

transformadores. A afinação da simulação apresentou maior estabilidade quando comparada à do órgão original. Para simular estas características, foram utilizadas as médias observadas nas amostras destas alterações. É importante ressaltar que na simulação é possível o controle sobre estes parâmetros, o que não é possível no órgão original. Outra diferença relevante entre o instrumento real e a simulação, são as falhas de contato de algumas notas do registro de flauta $5^{1/3}$ ' e as teclas Sol1 a Si1, que não faziam contato algum. Estas falhas foram corrigidas na simulação, por serem enquadradas como defeitos, não como características. Os instrumentos analógicos têm peculiaridades que conferem características únicas que são perceptíveis aos instrumentistas, porém, difíceis de serem analisados e reproduzidos. Martin Russ especifica:

Para encontrar um diferencial, os fabricantes exploraram a transformação entre sons, a adição de FM, realimentação pelo caminho do sinal, reprodução de amostras, rotas complexas de modulação e controles, distorção sutil e ruído para imitar as limitações do circuito analógico original e mais. Há uma considerável atenção a detalhes de implementação (2009, p.292)

Além de tais atribuições, peculiaridades como a não-linearidade de resposta de certos parâmetros ou ruídos gerados por partes móveis do instrumento são características complexas que nem sempre são resolvidos de maneira suficientemente fiéis nas simulações, acarretando em diferenças no resultado final. É o caso de duas características do órgão Yamaha Electone E-10AR, que não foram possíveis de serem simuladas com total precisão. Uma delas é a distorção do amplificador, que apresentou características diferentes das opções de efeito de distorção ofertados pelo Kontakt 5. Ainda assim, sonoramente, a simulação obteve características mais próximas ao órgão original com o efeitos de distorção do Kontakt 5 ativados do que quando desabilitados. A outra característica que não pôde ser simulada foram os ruídos gerados pela movimentação das partes mecânicas do alto-falante giratório interno do órgão original. Apesar do ciclo de giros do falante ser constante, ele não apresentou linearidade suficiente desses ciclos para sincronizar com o efeito *rotator* aplicado na simulação. Mesmos com estas duas peculiaridades, a simulação apresentou características similares quando comparada ao instrumento real no analisador por espectro de frequência (Figuras 22, 23 e 24).

Figura 22 – Comparação por espectro de frequência de cada registro, contendo o som gerado pela nota Lá central. Em branco a simulação e em cinza as amostras do órgão original. De cima para baixo, na coluna da esquerda os registros de flauta de 2', 2 ²/₃' e 4'. Na coluna da direita, os registros de flauta de 5 ¹/₃', 8' e 16'.

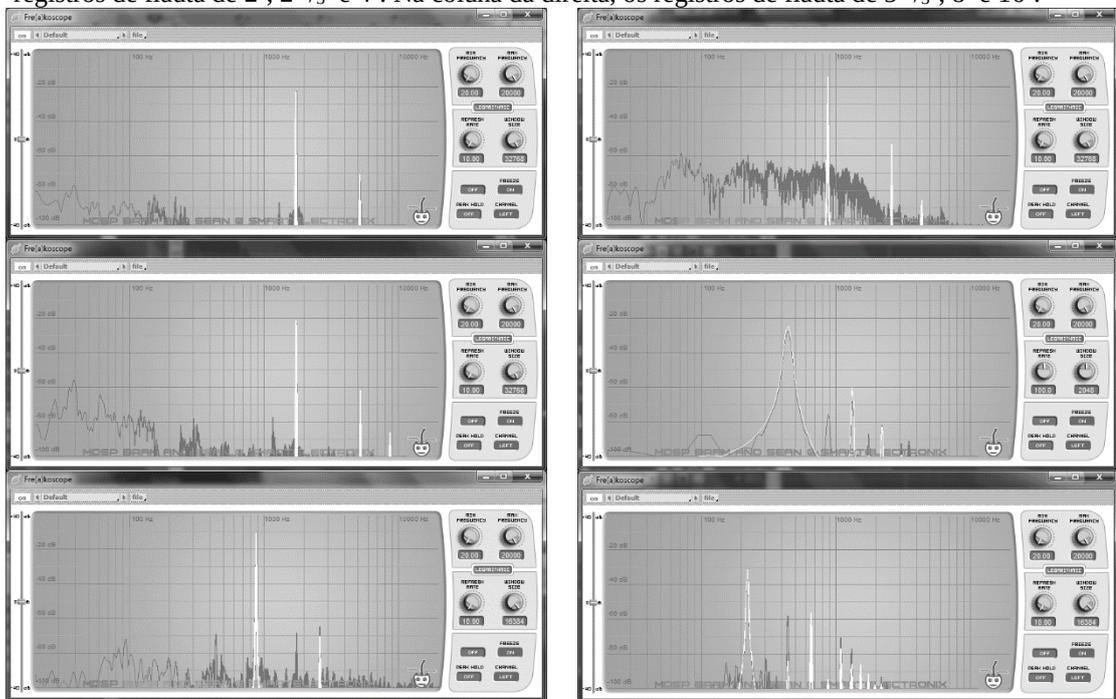


Figura 23 – Comparação por espectro de frequência de cada registro, contendo todas as notas somadas. Em branco a simulação e em cinza as amostras do microfone do *woofers* do órgão original. De cima para baixo os registros de flauta de 2', 2 2/3' e 4'.

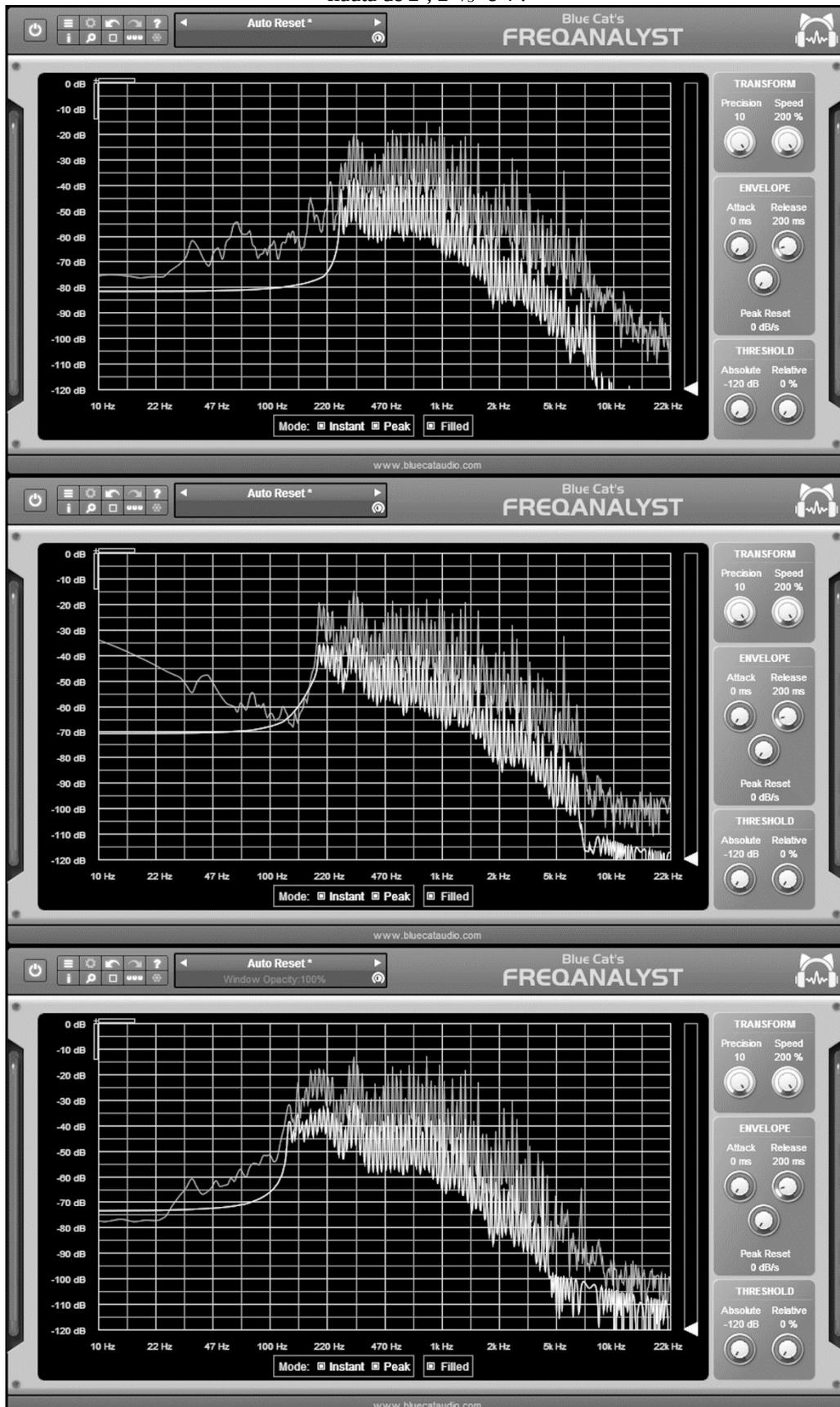
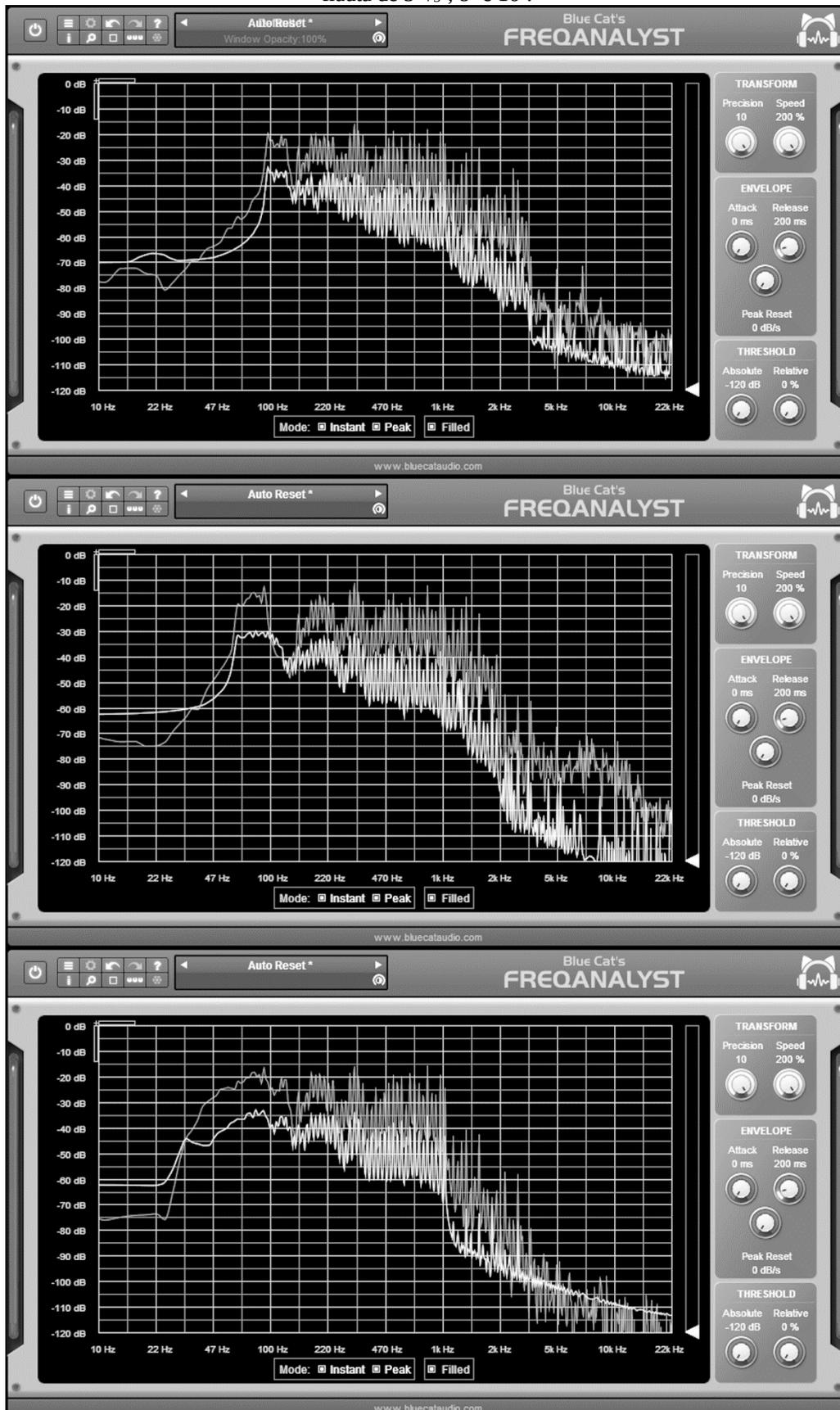


Figura 24 – Comparação por espectro de frequência de cada registro, contendo todas as notas somadas. Em branco a simulação e em cinza as amostras do microfone do *woofers* do órgão original. De cima para baixo os registros de flauta de 5 $\frac{1}{3}$ ', 8' e 16'.



A função *random unipolar* sobre o ponto de início de reprodução das amostras demonstrou-se eficaz na simulação do comportamento contínuo dos osciladores na arquitetura de sintetizadores analógicos. Somada às configurações dos parâmetros de envelope encontradas e à reprodução do mecanismo de abertura sucessiva dos registros, o efeito de *key click* foi possível de ser simulado, porém de maneira mais sutil (Figura 25).

Figura 25 – Visualização do osciloscópio da amostra da nota Lá3 do registro de flauta de 8' da simulação do órgão Yamaha Electone E-10AR realizada no *software* Kontakt 5. De cima para baixo, a visualização geral da amostra, com destaque para o *key click*. Abaixo o transiente inicial da amostra e, por último, o transiente final e logo após, a cauda da reverberação do ambiente.

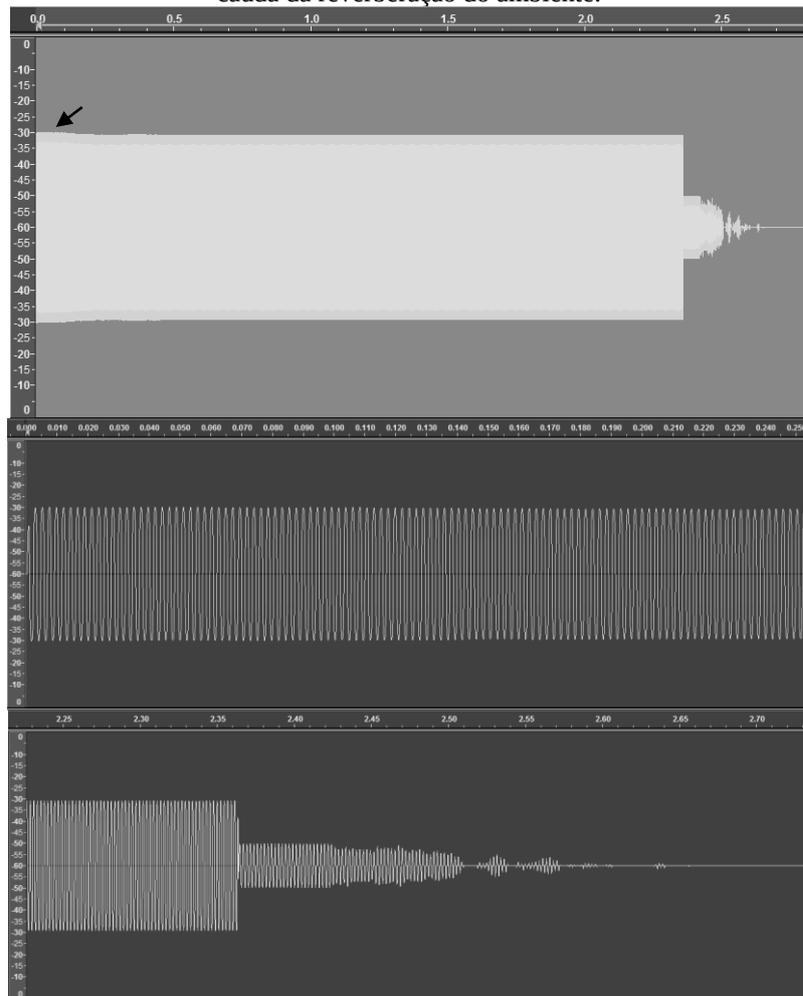
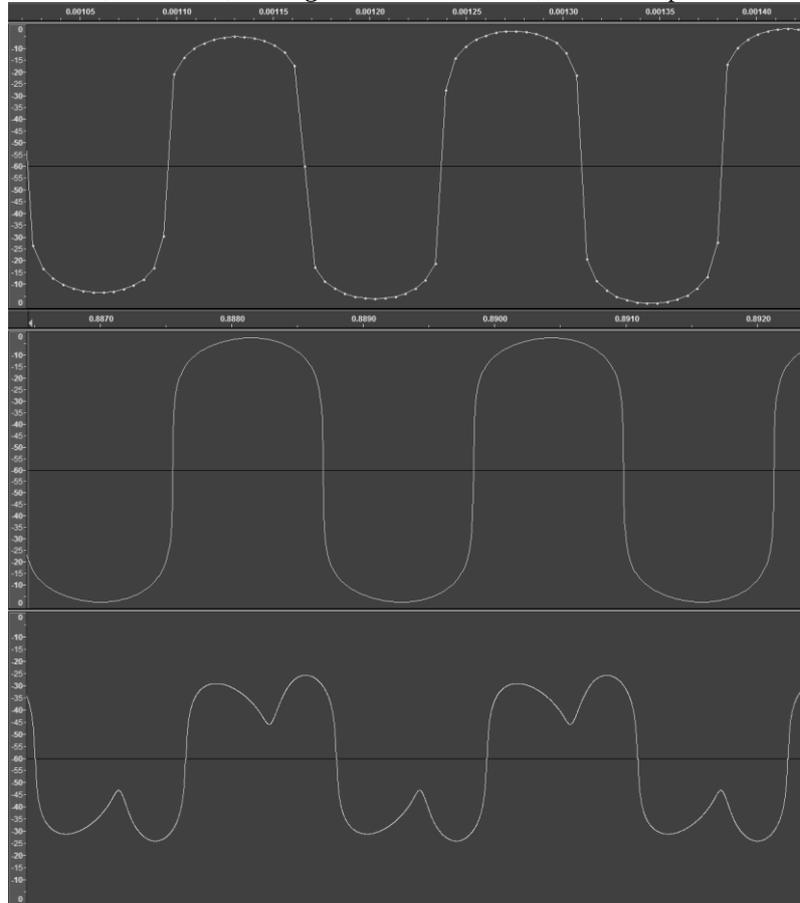


Figura 26 – Visualização por osciloscópio das notas Lá extremas e central da simulação do órgão Yamaha Electone E-10AR realizada no *software* Kontakt 5, na qualidade de 192kHz/32-bit. De cima para baixo, formas de onda das notas Lá7, Lá3 e Lá0, dos registros de flauta de 2', 8' e 16' respectivamente.



Por fim, a automação dos parâmetros por MIDI e os aspectos visuais tornaram a simulação ainda mais próxima do instrumento real. Ao todo, a simulação demonstrou uma sonoridade satisfatória, demonstrando a eficácia dos parâmetros analisados em reproduzir as qualidades encontradas nas amostras capturadas do órgão Yamaha Electone E-10AR.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os órgãos são instrumentos musicais de valor histórico acentuado, com raízes na antiguidade, que se estendem até os dias de hoje, com repertório que abrange desde a música sacra ao *jazz* e à música eletrônica. Atualmente, pouco se ouve falar neste instrumento e é cada vez menor o número de organistas. Pelo seu longo histórico, existem muitas fontes antigas que continuam relevantes. As fontes recentes, por outro lado, não apresentam o devido aprofundamento. Isto torna a discussão acerca deste instrumento relevante à manutenção de sua importância histórica.

Os órgãos elétricos, por sua vez, têm uma história recente. Inicialmente voltados à música religiosa, estes instrumentos foram amplamente utilizados na música popular até o final da década de 1970. O funcionamento e as nomenclaturas dos órgãos elétricos trazem muitos conceitos. Muitos deles são resquícios do longo processo histórico dos órgãos em geral, como as características dos registros serem marcados em pés, por exemplo. Outros conceitos eram advindos da área da eletrônica, antecedendo conceitos que foram posteriormente utilizados nos sintetizadores. Na década de 1980, o órgão passou a ser tratado como um instrumento caseiro, tendo o seu espaço em palcos substituído por sintetizadores polifônicos. Mesmo hoje, os órgãos elétricos são instrumentos caros e pesados quando comparados à outras alternativas. Os timbres de órgãos dos sintetizadores não eram completamente satisfatórios para repertórios mais exigentes, o que fez o órgão elétrico continuar com certa relevância. Na segunda metade da década de 1990, a tecnologia *virtual analogue* se estendeu aos órgãos, com uma boa aceitação entre os músicos. Posteriormente, *softwares* de órgãos elétricos *virtual analogue* também passariam a ser utilizados. Apesar das simulações até então atingirem resultados satisfatórios, são as pequenas peculiaridades destes órgãos que fazem deles instrumentos únicos. Além disto, seriam necessários muitos controladores MIDI para dar conta dos inúmeros parâmetros que os antigos órgãos elétricos apresentam em seu painel. Ainda que o som das simulações se aproximem dos originais, a praticidade destes painéis e a sensação de sentar diante destes instrumentos ainda é única.

Neste contexto, o Yamaha Electone E-10AR do Departamento de Artes da UFPR é um instrumento que une características interessantes, como registros de sonoridade aproximada a outros órgãos elétricos e um alto-falante giratório interno, com sonoridade aproximada à de uma caixa Leslie. Com o avanço da deterioração deste instrumento e a dificuldade de manutenção, a simulação deste órgão tornou-se relevante para a preservação de seu som e para a inserção de seus timbres em novas composições e gravações. A simulação do Yamaha Electone E-10AR ainda apresenta facilidades como a portabilidade e a automação MIDI. Assim, a compreensão e a

assimilação dos processos de síntese tornam-se importantes neste processo. A virtualização dos equipamentos de áudio permitiu o desenvolvimento de instrumentos de funcionalidades cada vez mais complexas. Conhecer o processo histórico de síntese, então, permitiu uma visão ampla e concisa das ferramentas encontradas nestes instrumentos virtuais.

O órgão Yamaha Electone E-10AR demonstrou peculiaridades que, somadas, dão personalidade própria a este instrumento. Os parâmetros encontrados nos manuais de instruções de outras simulações de órgãos elétricos foram valiosos ao apontarem características que puderam ser observadas no caso do Yamaha Electone E-10AR. As ferramentas utilizadas para as análises foram eficazes. Os *softwares freeware* se mostraram alternativas de grande potencial, sendo precisas e consumindo pouca memória RAM e pouco processamento do computador. Tanto o conjunto de ferramentas de análise quanto os programas de edição e síntese, foram escolhidos, antes de tudo, pela familiaridade do autor, porém, a simulação poderia ser realizada em outros programas. As soluções encontradas no Kontakt para as peculiaridades do instrumento original se demonstraram suficientes. A sonoridade da simulação se provou satisfatória em comparação às amostras originais, apesar das sutis diferenças apresentadas nas análises visuais. A simulação do *key click* e da ativação sucessiva e aleatória dos registros, ligados ao *velocity*, foram eficazes, conferindo sonoridade próxima ao instrumento real. O mapeamento dos botões deslizantes, com comportamento análogo às chaves de quatro estágios que ativam os registros, conferiu uma experiência similar ao manuseio dos controles do Yamaha Electone E-10AR. Juntamente com a simulação linear do pedal de expressão, a adição destes controles acrescentou peculiaridades sonoras similares à performance de teste, quando há mudanças de timbre. Quanto às discrepâncias, ocorreram em maior concentração na região das frequências médias, tendo como o principal fator as diferenças das distorções geradas pelo amplificador do Yamaha Electone E-10AR com a distorção gerada pelo efeito do Kontakt 5.

Por fim, características e soluções, como o ponto aleatório de partida das amostras, filtros com características não-lineares e distorções de amplificador, podem ser elementos a serem analisados na simulação de instrumentos de funcionamento similar. De tal modo, os resultados encontrados nesta pesquisa podem servir de base tanto para a simulação de todos os registros e funções do Yamaha Electone E-10AR, quanto para a simulação de outros instrumentos eletrônicos análogos.

REFERÊNCIAS

- ADMINISTRAÇÃO APOSTÓLICA PESSOAL SÃO JOÃO MARIA VIANNEY. Inauguração do órgão de tubos, 23 out. 2019. Disponível em: <<https://www.adapostolica.org/inauguracao-do-orgao-de-tubos/>>. Acesso em: 27/10/2019.
- ADOBE SYSTEMS INCORPORATED. Audition 3 user guide. In: ADOBE SYSTEMS INCORPORATED. **Audition 3.0**. San Jose: Adobe, 2007. CD-ROM.
- BUCHLA. About Don Buchla. Disponível em: <<http://buchla.com/history/>>. Acesso em: 26/03/2019.
- DIREÇÃO-GERAL DO PATRIMÓNIO CULTURAL. Sé de Braga, compreendendo os túmulos, designadamente os do Conde D. Henrique e D. Teresa, do Infante D. Afonso e do arcebispo D. Gonçalo Pereira. Disponível em: <<http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/70462/>>. Acesso em 10/07/2019.
- DUQUE, João. Órgão Ibérico. Universidade Católica Portuguesa. In: **Theologica**. n. 42 - 2ª Série - Fascículo 1. Braga: Universidade Católica Portuguesa - Faculdade de Teologia. 2006. P. 161-164. Disponível em: <<https://repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/13131>>. Acesso em: 15/02/2019.
- EVEREST, Frederick Alton. **Master handbook of acoustics**. 4ª ed. New York: McGraw-Hill, 2001.
- FREE SOFTWARE FOUNDATION. What is free software? Disponível em: <<https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html>>. Acesso em: 27/10/2019.
- FRIEDMAN, Dean. **Synthesizer basics**. London: Music Sales, 1985.
- FRIETSCH, ELOY FERNANDO. **Música eletrônica: uma introdução ilustrada**. Porto Alegre: UFRGS, 2008.
- GENUINE SOUNDWARE AND INSTRUMENTS. GSI presents VB3 the ultimate virtual tonewheel organ. 2008. Disponível em: <<https://www.genuinesoundware.com/?a=dl&b=106>>. Acesso em: 07/10/2017.
- GROOSE, Darwin; KURZ, Michael; LOOP, Thomas. B4 II Operation manual. In: NATIVE INSTRUMENTS SOFTWARE SYNTHESIS GMBH. **B4 II**. Berlin, 2004. CD-ROM.
- HAMM, Russell O. Tubes versus transistors – is there an audible difference? **Journal of the audio engineering society**, New York, v. 21, p.267-273, mai. 1973. Disponível em: <<https://archive.org/details/TubesVersusTransistors-IsThereAnAudibleDifference>>. Acesso em: 26/07/2019.
- HANLEY, Adam. Vintage Organs manual. 2010. Disponível em: <https://www.native-instruments.com/fileadmin/ni_media/downloads/manuals/Vintage_Organs_Manual_English.zip>. Acesso em: 24/07/2019.
- HOPKINS, Edward J. **The organ: its history and construction**. London: Robert Cocks & Co., 1870.
- JENKINS, Lucien. **Manual ilustrado dos instrumentos musicais**. São Paulo: Irmãos Vitale, 2009.

- LIMINA, Mark. **Hammond Organ: Complete tunes, tones, and techniques for drawbar keyboards**. Boston: Berklee, 2002.
- MARSHALL, Alex. For Notre-Dame organists, a bit of solace. **The New York Times**, New York, 25 abr. 2019. Seção C, p. 1. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2019/04/24/arts/music/notre-dame-organ-fire.html>>. Acesso em: 11/07/2019.
- MUSICAL INSTRUMENT MUSEUMS ONLINE. Revision of the Hornbostel-Sachs classification of musical instruments by the MIMO Consortium. Disponível em: <http://network.icom.museum/fileadmin/user_upload/minisites/cimcim/documents/H-S_20classification_20final_20version_20_282013_29_20without_20editorial_20markings-2.pdf>. Acesso em: 07/07/2019.
- NATIVE INSTRUMENTS GMBH. Kontakt 5 application reference. In: NATIVE INSTRUMENTS GMBH. **Kontakt 5**. Berlin, 2013. CD-ROM.
- NOVATION ELECTRONIC MUSIC SYSTEMS LTD. **X-Station user manual**. High Wycombe, 2004.
- PACHER, Matheus Ricardo. **Órgão de tubos**. 16 f. Trabalho para a disciplina de Instrumento de Teclado Complementar I. Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2013.
- RAMOS, Célia. O órgão de tubos: das origens profanas à consagração religiosa. In: **Revista da Faculdade de Letras, Ciências e técnicas do Património**. I série vol. 2. Porto: Universidade do Porto – Faculdade de letras. 2003. Disponível em: <<http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/2917.pdf>>. Acesso em: 23/06/2019.
- RUSS, Martin. **Sound synthesis and sampling**. 3ª ed. Oxford: Focal, 2009.
- SONY CORPORATION. **Condenser microphone C-48 operation instructions**. New York: Sony, 1980.
- SPARK, Rod. The history of the Hammond. **Sound on sound**. Cambridge, out. 1997. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20150608011928/http://www.soundonsound.com/sos/1997_articles/oct97/hammond.html>. Acesso em: 07/10/2018.
- THORNTON, MIKE. Digidesign Pro Tools 7.4. **Sound on sound**. Cambridge, out. 2008. Disponível em: <<https://www.soundonsound.com/reviews/digidesign-pro-tools-74>>. Acesso em: 07/07/2019.
- VAIL, Mark. **The Hammond Organ: Beauty in the B**. 2ª ed. San Francisco: Backbeat, 2002.
- VALAX, Jason. Modular V User Manual. 2016. Disponível em: <http://downloads.arturia.net/products/modular-v/manual/Modular_V_Manual_3_0_0_EN.pdf>. Acesso em: 24/07/2019.
- VALLE, Sólón do. **Manual prático de acústica**. 3ed. Rio de Janeiro: Música & Tecnologia, 2009.
- YAMAHA CORPORATION. **Guide to your Yamaha Electone E-10AR**. [c.a. 1974].
- _____. Origens dos sintetizadores da Yamaha. 2014. In: **YAMAHA CORPORATION**. 40º aniversário do sintetizador Yamaha. 2014. Disponível em: <https://br.yamaha.com/pt/products/contents/music_production/synth_40th/history/chapter01/index.html>. Acesso em: 04/08/2019.

ANEXO

Tabela 02 – ANÁLISE DAS AMOSTRAS DO REGISTRO FLUTE 2' DO MANUAL SUPERIOR DO ÓRGÃO YAMAHA ELECTONE E-10AR. Ajuste, amplitude máxima e média dos microfones de cada amostra capturada.

Flute 2'			Leslie	Sub	Woofers	Média mic
Tecla	Nota	GTune (%)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)
1	Dó 3	5	-9	-10	-25	-14,66666667
2	Dó# 3	2	-14	-12	-28	-18
3	Ró 3	-3	-7	-9	-16	-10,66666667
4	Mi ^b 3	0	-5	-7	-12	-8
5	Mi 3	-2	-5	-9	-16	-10
6	Fá 3	1	-9	-12	-16	-12,33333333
7	Sol ^b 3	1	-9	-13	-22	-14,66666667
8	Sol 3	3	-8	-9	-24	-13,66666667
9	Lá ^b 3	1	-10	-11	-20	-13,66666667
10	Lá 3	0	-11,1	-10	-24	-15,03333333
11	Si ^b 3	1	-6	-9	-18	-11
12	Si 3	-2	-8	-9	-17	-11,33333333
13	Dó 4	5	-6	-9	-12	-9
14	Dó# 4	2	-7	-7	-9	-7,66666667
15	Ré 4	-3	-7	-7	-13	-9
16	Mi ^b 4	0	-6	-9	-20	-11,66666667
17	Mi 4	-2	-4	-6	-10	-6,66666667
18	Fá 4	1	0	-4	-11	-5
19	Sol ^b 4	1	-6	-8	-9	-7,66666667
20	Sol 4	3	-5	-7	-8	-6,66666667
21	Lá ^b 4	1	-3	-5	-8	-5,33333333
22	Lá 4	0	-7	-8	-7	-7,33333333
23	Si ^b 4	1	-4	-7	-11	-7,33333333
24	Si 4	-2	-7	-9	-10	-8,66666667
25	Dó 5	5	-9	-11	-13	-11
26	Dó# 5	2	-9	-12	-16	-12,33333333
27	Ré 5	-3	-7	-9	-13	-9,66666667
28	Mi ^b 5	0	-10	-10	-12	-10,66666667
29	Mi 5	-2	-14	-13	-12	-13
30	Fá 5	1	-11	-13	-15	-13
31	Sol ^b 5	1	-12	-14	-17	-14,33333333
32	Sol 5	3	-17	-17	-19	-17,66666667
33	Lá ^b 5	1	-15	-16	-17	-16
34	Lá 5	0	-15	-16	-18	-16,33333333
35	Si ^b 5	1	-17	-20	-20	-19
36	Si 5	-2	-23	-25	-32	-26,66666667
37	Dó 6	5	-24	-23	-23	-23,33333333
38	Dó# 6	2	-22	-23	-22	-22,33333333
39	Ré 6	-3	-29	-30	-17	-25,33333333

Flute 2'			Leslie	Sub	Woofers	Média mic
Tecla	Nota	GTune (%)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)
40	Mi ^b 6	-1	-18	-20	-20	-19,33333333
41	Mi 6	3	-32	-29	-20	-27
42	Fá 6	2	-20	-21	-20	-20,33333333
43	Sol ^b 6	4	-18	-20	-19	-19
44	Sol 6	0	-25	-26	-24	-25
45	Lá ^b 6	0	-22	-23	-25	-23,33333333
46	Lá 6	0	-23	-24	-23	-23,33333333
47	Si ^b 6	0	-27	-29	-25	-27
48	Si 6	0	-25	-29	-24	-26
49	Dó 7	0	-29	-32	-28	-29,66666667
50	Dó [#] 7	0	-30	-34	-26	-30
51	Ré 7	0	-30	-33	-29	-30,66666667
52	Mi ^b 7	0	-28	-30	-26	-28
53	Mi 7	0	-30	-32	-28	-30
54	Fá 7	0	-39	-43	-29	-37
55	Sol ^b 7	0	-37	-38	-33	-36
56	Sol 7	0	-35	-33	-29	-32,33333333
57	Lá ^b 7	0	-35	-39	-23	-32,33333333
58	Lá 7	0	-38	-39	-29	-35,33333333
59	Si ^b 7	0	-39	-41	-42	-40,66666667
60	Si 7	0	-48	-50	-39	-45,66666667
61	Dó 7	0	-31	-33	-28	-30,66666667

Tabela 03 – ANÁLISE DAS AMOSTRAS DO REGISTRO FLUTE 2 ²/₃' DO MANUAL SUPERIOR DO ÓRGÃO YAMAHA ELECTONE E-10AR. Afinação, amplitude máxima e média dos microfones de cada amostra capturada.

2 ² / ₃ '			Leslie	Sub	Woofers	Média mic
Tecla	Nota	GTune (%)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)
1	Sol 2	3	-2	-6	-13	-14,66666667
2	Lá ^b 2	0	-3	-6	-14	-18
3	Lá 2	0	-2	-4	-18	-10,66666667
4	Si ^b 2	1	-5	-5	-15	-8
5	Si 2	-2	-4	-5	-24	-10
6	Dó 3	5	-6	-7	-22	-12,33333333
7	Dó [#] 3	2	-12	-10	-27	-14,66666667
8	Ró 3	-3	-3	-5	-12	-13,66666667
9	Mi ^b 3	0	-1	-3	-8	-13,66666667
10	Mi 3	-2	-1	-4	-11	-15,03333333
11	Fá 3	0	-4	-7	-14	-11
12	Sol ^b 3	0	-5	-8	-18	-11,33333333
13	Sol 3	3	-8	-8	-23	-9
14	Lá ^b 3	0	-9	-10	-20	-7,66666667
15	Lá 3	0	-9	-10	-24	-9
16	Si ^b 3	1	-6	-9	-17	-11,66666667
17	Si 3	-2	-7	-9	-17	-6,66666667
18	Dó 4	5	-6	-8	-11	-5

2 2/3'			Leslie	Sub	Woofers	Média mic
Tecla	Nota	GTune (%)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)
19	Dó# 4	2	-9	-10	-11	-7,666666667
20	Ré 4	-3	-8	-9	-15	-6,666666667
21	Mi ^b 4	0	-8	-11	-22	-5,333333333
22	Mi 4	-2	-5	-7	-11	-7,333333333
23	Fá 4	0	-1	-3	-12	-7,333333333
24	Sol ^b 4	0	-4	-6	-9	-8,666666667
25	Sol 4	3	-5	-7	-10	-11
26	Lá ^b 4	0	-6	-8	-11	-12,333333333
27	Lá 4	0	-10	-11	-10	-9,666666667
28	Si ^b 4	1	-5	-7	-11	-10,666666667
29	Si 4	-2	-8	-9	-11	-13
30	Dó 5	5	-9	-10	-14	-13
31	Dó# 5	2	-9	-12	-17	-14,333333333
32	Ré 5	-3	-4	-6	-12	-17,666666667
33	Mi ^b 5	0	-6	-8	-11	-16
34	Mi 5	0	-11	-11	-11	-16,333333333
35	Fá 5	2	-9	-10	-12	-19
36	Sol ^b 5	2	-9	-12	-16	-26,666666667
37	Sol 5	3	-14	-14	-19	-23,333333333
38	Lá ^b 5	0	-11	-12	-14	-22,333333333
39	Lá 5	0	-13	-14	-15	-25,333333333
40	Si ^b 5	1	-13	-16	-17	-19,333333333
41	Si 5	-2	-17	-19	-27	-27
42	Dó 6	5	-19	-18	-18	-20,333333333
43	Dó# 6	2	-21	-22	-21	-19
44	Ré 6	-3	-25	-27	-15	-25
45	Mi ^b 6	-1	-15	-17	-16	-23,333333333
46	Mi 6	1	-28	-25	-17	-23,333333333
47	Fá 6	2	-16	-17	-17	-27
48	Sol ^b 6	-29	-15	-17	-16	-26
49	Sol 6	0	-17	-19	-19	-29,666666667
50	Lá ^b 6	0	-17	-20	-20	-30
51	Lá 6	0	-20	-22	-21	-30,666666667
52	Si ^b 6	0	-22	-24	-20	-28
53	Si 6	0	-22	-25	-19	-30
54	Dó 7	0	-25	-27	-22	-37
55	Dó# 7	0	-30	-33	-25	-36
56	Ré 7	0	-31	-32	-30	-32,333333333
57	Mi ^b 7	0	-28	-29	-25	-32,333333333
58	Mi 7	0	-29	-30	-25	-35,333333333
59	Fá 7	0	-35	-38	-24	-40,666666667
60	Sol ^b 7	0	-31	-32	-28	-45,666666667
61	Sol 7	0	-30	-31	-27	-30,666666667

Tabela 04 – ANÁLISE DAS AMOSTRAS DO REGISTRO FLUTE 4' DO MANUAL SUPERIOR DO ÓRGÃO YAMAHA ELECTONE E-10AR. Ajustagem, amplitude máxima e média dos microfones de cada amostra capturada.

Flute 4'			Leslie	Woofers	Nota	Média mic
Tecla	Nota	GTune (%)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)
1	Dó 2	5	-3	-4	-24	-10,33333333
2	Dó# 2	2	-4	-5	-31	-13,33333333
3	Ré 2	-3	-2	-3	-18	-7,66666667
4	Mi ^b 2	0	-6	-5	-24	-11,66666667
5	Mi 2	-2	-3	-4	-24	-10,33333333
6	Fá 2	0	-4	-5	-12	-7
7	Sol ^b 2	0	-4	-7	-12	-7,66666667
8	Sol 2	3	-1	-5	-11	-5,66666667
9	Lá ^b 2	0	-1	-4	-12	-5,66666667
10	Lá 2	0	0	-2	-15	-5,66666667
11	Si ^b 2	1	-3	-3	-13	-6,33333333
12	Si 2	-2	-3	-4	-24	-10,33333333
13	Dó 3	5	-5	-6	-22	-11
14	Dó# 3	2	-9	-7	-23	-13
15	Ró 3	-3	-1	-3	-10	-4,66666667
16	Mi ^b 3	0	0	-2	-6	-2,66666667
17	Mi 3	0	-1	-3	-10	-4,66666667
18	Fá 3	0	-4	-7	-12	-7,66666667
19	Sol ^b 3	0	-6	-9	-19	-11,33333333
20	Sol 3	3	-6	-6	-20	-10,66666667
21	Lá ^b 3	0	-6	-7	-17	-10
22	Lá 3	0	-7	-6	-20	-11
23	Si ^b 3	1	-3	-6	-14	-7,66666667
24	Si 3	-2	-5	-6	-14	-8,33333333
25	Dó 4	5	-4	-7	-10	-7
26	Dó# 4	2	-6	-7	-7	-6,66666667
27	Ré 4	-3	-5	-6	-11	-7,33333333
28	Mi ^b 4	0	-3	-7	-19	-9,66666667
29	Mi 4	-2	-1	-3	-8	-4
30	Fá 4	0	0	0	-10	-3,33333333
31	Sol ^b 4	0	-3	-5	-8	-5,33333333
32	Sol 4	3	-3	-5	-7	-5
33	Lá ^b 4	0	-1	-2	-6	-3
34	Lá 4	0	-4	-6	-6	-5,33333333
35	Si ^b 4	1	-1	-4	-10	-5
36	Si 4	-2	-8	-9	-9	-8,66666667
37	Dó 5	5	-8	-10	-14	-10,66666667
38	Dó# 5	2	-7	-9	-14	-10
39	Ré 5	-3	-3	-4	-10	-5,66666667
40	Mi ^b 5	0	-4	-6	-9	-6,33333333
41	Mi 5	-2	-11	-9	-10	-10
42	Fá 5	0	-8	-9	-11	-9,33333333
43	Sol ^b 5	0	-9	-12	-16	-12,33333333

Flute 4'			Leslie	Woofers	Nota	Média mic
Tecla	Nota	GTune (%)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)
44	Sol 5	3	-13	-14	-17	-14,66666667
45	Lá ^b 5	0	-11	-12	-15	-12,66666667
46	Lá 5	0	-13	-14	-16	-14,33333333
47	Si ^b 5	1	-16	-19	-20	-18,33333333
48	Si 5	-2	-20	-23	-29	-24
49	Dó 6	5	-23	-23	-23	-23
50	Dó [#] 6	2	-17	-19	-19	-18,33333333
51	Ré 6	-3	-24	-26	-14	-21,33333333
52	Mi ^b 6	-1	-15	-17	-17	-16,33333333
53	Mi 6	2	-28	-27	-19	-24,66666667
54	Fá 6	2	-20	-21	-20	-20,33333333
55	Sol ^b 6	5	-19	-22	-24	-21,66666667
56	Sol 6	0	-24	-25	-24	-24,33333333
57	Lá ^b 6	0	-22	-23	-26	-23,66666667
58	Lá 6	0	-23	-25	-24	-24
59	Si ^b 6	0	-28	-30	-24	-27,33333333
60	Si 6	0	-27	-29	-24	-26,66666667
61	Dó 7	0	-31	-31	-28	-30

Tabela 05 – ANÁLISE DAS AMOSTRAS DO REGISTRO FLUTE 5 $\frac{1}{3}$ ' DO MANUAL SUPERIOR DO ÓRGÃO YAMAHA ELECTONE E-10AR. Afinação, amplitude máxima e média dos microfones de cada amostra capturada.

Flute 5 $\frac{1}{3}$ '			Leslie	Sub	Woofers	Média mic
Tecla	Nota	GTune (%)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)
1	Sol 1	3	0	-2	-13	-5
2	Lá ^b 1	0	-2	-3	-16	-7
3	Lá 1	0	-1	-3	-16	-6,66666667
4	Si ^b 1	1	-1	-3	-14	-6
5	Si 1	-2	-1	-3	-14	-6
6	Dó 2	5	-7	-6	-25	-12,66666667
7	Dó [#] 2	2	-3	-7	-31	-13,66666667
8	Ré 2	-2	-7	-4	-20	-10,33333333
9	Mi ^b 2	0	-5	-6	-26	-12,33333333
10	Mi 2	-2	-6	-6	-20	-10,66666667
11	Fá 2	0	-5	-7	-14	-8,66666667
12	Sol ^b 2	1	-5	-8	-14	-9
13	Sol 2	-3	-5	-9	-15	-9,66666667
14	Lá ^b 2	0	-3	-6	-14	-7,66666667
15	Lá 2	0	-1	-3	-16	-6,66666667
16	Si ^b 2	1	-3	-3	-13	-6,33333333
17	Si 2	-2	-1	-3	-22	-8,66666667
18	Dó 3	5	-1	-4	-24	-9,66666667
19	Dó [#] 3	1	-3	-8	-13	-8
20	Ró 3	-3	-10	-6	-13	-9,66666667
21	Mi ^b 3	0	-5	-4	-9	-6
22	Mi 3	-2	-2	-6	-12	-6,66666667

Flute 5 ^{1/3} '			Leslie	Sub	Woofers	Média mic
Tecla	Nota	GTune (%)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)
23	Fá 3	0	-5	-8	-13	-8,666666667
24	Sol ^b 3	1	-6	-9	-19	-11,333333333
25	Sol 3	3	-8	-9	-23	-13,333333333
26	Lá ^b 3	0	-9	-10	-18	-12,333333333
27	Lá 3	0	-9	-9	-20	-12,666666667
28	Si ^b 3	1	-5	-8	-15	-9,333333333
29	Si 3	-2	-7	-8	-15	-10
30	Dó 4	5	-6	-8	-11	-8,333333333
31	Dó [#] 4	2	-11	-8	-13	-10,666666667
32	Ré 4	-3	-8	-11	-14	-11
33	Mi ^b 4	1	-6	-8	-22	-12
34	Mi 4	-2	-4	-10	-11	-8,333333333
35	Fá 4	0	-2	-3	-14	-6,333333333
36	Sol ^b 4	0	-6	-8	-11	-8,333333333
37	Sol 4	3	-9	-11	-12	-10,666666667
38	Lá ^b 4	0	-7	-9	-11	-9
39	Lá 4	0	-10	-12	-11	-11
40	Si ^b 4	1	-5	-7	-13	-8,333333333
41	Si 4	0	-8	-9	-12	-9,666666667
42	Dó 5	5	10	-11	-15	-5,333333333
43	Dó [#] 5	2	-11	-14	-18	-14,333333333
44	Ré 5	-3	-12	-13	-19	-14,666666667
45	Mi ^b 5	0	-13	-15	-18	-15,333333333
46	Mi 5	-2	-22	-20	-21	-21
47	Fá 5	0	-17	-19	-20	-18,666666667
48	Sol ^b 5	1	-17	-19	-25	-20,333333333
49	Sol 5	3	-20	-20	-25	-21,666666667
50	Lá ^b 5	0	-14	-15	-17	-15,333333333
51	Lá 5	0	-15	-16	-18	-16,333333333
52	Si ^b 5	1	-16	-19	-21	-18,666666667
53	Si 5	-2	-17	-18	-26	-20,333333333
54	Dó 6	5	-20	-20	-20	-20
55	Dó [#] 6	0	-21	-22	-23	-22
56	Ré 6	0	-31	-31	-20	-27,333333333
57	Mi ^b 6	0	-20	-23	-22	-21,666666667
58	Mi 6	0	-30	-29	-21	-26,666666667
59	Fá 6	0	-21	-22	-21	-21,333333333
60	Sol ^b 6	0	-19	-21	-20	-20
61	Sol 6	0	-24	-26	-25	-25

Tabela 06 – ANÁLISE DAS AMOSTRAS DO REGISTRO FLUTE 8' DO MANUAL SUPERIOR DO ÓRGÃO YAMAHA ELECTONE E-10AR. Ajustagem, amplitude máxima e média dos microfones de cada amostra capturada.

Flute 8'			Leslie	Sub	Woofers	Média mic
Tecla	Nota	GTune (%)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)
1	Dó 1	5	0	0	-13	-4,333333333
2	Dó# 1	2	0	0	-13	-4,333333333
3	Ré 1	-3	0	0	-12	-4
4	Mi ^b 1	0	0	0	-10	-3,333333333
5	Mi 1	-2	0	0	-10	-3,333333333
6	Fá 1	0	0	0	-11	-3,666666667
7	Gol ^b 1	0	0	0	-9	-3
8	Sol 1	0	0	0	0	0
9	Lá ^b 1	0	0	0	0	0
10	Lá 1	0	0	0	0	0
11	Si ^b 1	0	0	0	0	0
12	Si 1	0	0	0	0	0
13	Dó 2	0	0	0	0	0
14	Dó# 2	2	-4	-5	-31	-13,333333333
15	Ré 2	-3	-2	-3	-18	-7,666666667
16	Mi ^b 2	0	-6	-4	-24	-11,333333333
17	Mi 2	-2	-3	-4	-20	-9
18	Fá 2	0	-4	-6	-12	-7,333333333
19	Sol ^b 2	0	-3	-7	-12	-7,333333333
20	Sol 2	3	-1	-3	-9	-4,333333333
21	Lá ^b 2	0	-1	-3	-10	-4,666666667
22	Lá 2	0	0	-1	-15	-5,333333333
23	Si ^b 2	1	-1	-1	-11	-4,333333333
24	Si 2	-2	-1	-2	-21	-8
25	Dó 3	5	-4	-4	-25	-11
26	Dó# 3	2	-8	-6	-24	-12,666666667
27	Ró 3	-3	-1	-1	-8	-3,333333333
28	Mi ^b 3	0	0	-1	-4	-1,666666667
29	Mi 3	-2	-1	-2	-8	-3,666666667
30	Fá 3	0	-3	-6	-11	-6,666666667
31	Sol ^b 3	0	-5	-8	-18	-10,333333333
32	Sol 3	3	-4	-5	-19	-9,333333333
33	Lá ^b 3	0	-5	-6	-15	-8,666666667
34	Lá 3	0	-5	-5	-17	-9
35	Si ^b 3	1	-2	-5	-11	-6
36	Si 3	-2	-3	-5	-12	-6,666666667
37	Dó 4	5	-2	-5	-8	-5
38	Dó# 4	-2	-6	-7	-8	-7
39	Ré 4	-3	-6	-6	-12	-8
40	Mi ^b 4	0	-4	-7	-19	-10
41	Mi 4	-2	-1	-3	-8	-4
42	Fá 4	0	-2	-1	-10	-4,333333333
43	Sol ^b 4	0	-4	-5	-8	-5,666666667

Flute 8'			Leslie	Sub	Woofers	Média mic
Tecla	Nota	GTune (%)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)
44	Sol 4	3	-4	-6	-6	-5,333333333
45	Lá ^b 4	0	-2	-3	-6	-3,666666667
46	Lá 4	0	-5	-6	-5	-5,333333333
47	Si ^b 4	1	-1	-2	-8	-3,666666667
48	Si 4	-2	-5	-7	-8	-6,666666667
49	Dó 5	5	-7	-9	-12	-9,333333333
50	Dó [#] 5	2	-6	-9	-13	-9,333333333
51	Ré 5	-3	-3	-4	-10	-5,666666667
52	Mi ^b 5	0	-3	-5	-8	-5,333333333
53	Mi 5	-2	-11	-9	-10	-10
54	Fá 5	0	-7	-8	-10	-8,333333333
55	Sol ^b 5	0	-7	-10	-16	-11
56	Sol 5	3	-13	-13	-17	-14,333333333
57	Lá ^b 5	0	-12	-13	-15	-13,333333333
58	Lá 5	0	-13	-14	-15	-14
59	Si ^b 5	1	-14	-17	-20	-17
60	Si 5	-2	-16	-17	-25	-19,333333333
61	Dó 6	5	-19	-19	-20	-19,333333333

Tabela 07 – ANÁLISE DAS AMOSTRAS DO REGISTRO FLUTE 16' DO MANUAL SUPERIOR DO ÓRGÃO YAMAHA ELECTONE E-10AR. Afinação, amplitude máxima e média dos microfones de cada amostra capturada.

Flute 16'			Leslie	Sub	Woofers	Média mic
Tecla	Nota	GTune (%)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)
1	Dó 0	5	-2	-3	-18	-7,666666667
2	Dó [#] 0	2	-2	-2	-19	-7,666666667
3	Ré 0	-3	-2	-2	-19	-7,666666667
4	Mi ^b 0	0	-2	-1	-17	-6,666666667
5	Mi 0	-2	-2	-2	-17	-7
6	Fá 0	0	-2	-3	-18	-7,666666667
7	Sol ^b 0	0	-1	-2	-16	-6,333333333
8	Sol 0	3	-1	-1	-17	-6,333333333
9	Lá ^b 0	0	-1	-1	-16	-6
10	Lá 0	0	-1	-1	-17	-6,333333333
11	Si ^b 0	1	-1	-1	-15	-5,666666667
12	Si 0	-2	-1	-1	-16	-6
13	Dó 1	5	-1	-1	-15	-5,666666667
14	Dó [#] 1	2	-1	-1	-14	-5,333333333
15	Ré 1	-3	-1	-1	-14	-5,333333333
16	Mi ^b 1	0	0	-1	-12	-4,333333333
17	Mi 1	-2	0	-1	-11	-4
18	Fá 1	0	0	-1	-13	-4,666666667
19	Go ^b 1	0	0	-1	-10	-3,666666667
20	Sol 1	3	-2	-5	-15	-7,333333333
21	Lá ^b 1	0	-4	-5	-18	-9
22	Lá 1	0	-3	-5	-18	-8,666666667

Flute 16'			Leslie	Sub	Woofers	Média mic
Tecla	Nota	GTune (%)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)	Pico (dB)
23	Si ^b 1	1	-1	-3	-14	-6
24	Si 1	-2	-1	-3	-14	-6
25	Dó 2	5	-3	-4	-24	-10,33333333
26	Dó [#] 2	2	-7	-8	-32	-15,66666667
27	Ré 2	-3	-4	-5	-20	-9,66666667
28	Mi ^b 2	0	-7	-5	-24	-12
29	Mi 2	-2	-7	-5	-19	-10,33333333
30	Fá 2	0	-4	-5	-12	-7
31	Sol ^b 2	0	-3	-7	-12	-7,33333333
32	Sol 2	3	-2	-6	-12	-6,66666667
33	Lá ^b 2	0	-2	-6	-13	-7
34	Lá 2	0	-1	-3	-17	-7
35	Si ^b 2	1	-3	-3	-13	-6,33333333
36	Si 2	-2	-3	-4	-23	-10
37	Dó 3	5	-5	-6	-26	-12,33333333
38	Dó [#] 3	2	-11	-10	-24	-15
39	Ró 3	-3	-4	-5	-12	-7
40	Mi ^b 3	0	-3	-4	-9	-5,33333333
41	Mi 3	-2	-3	-7	-13	-7,66666667
42	Fá 3	0	-8	-10	-16	-11,33333333
43	Sol ^b 3	0	-7	-13	-22	-14
44	Sol 3	3	-7	-8	-22	-12,33333333
45	Lá ^b 3	0	-8	-9	-18	-11,66666667
46	Lá 3	0	-9	-9	-20	-12,66666667
47	Si ^b 3	1	-5	-9	-15	-9,66666667
48	Si 3	-2	-7	-9	-16	-10,66666667
49	Dó 4	5	-7	-9	-12	-9,33333333
50	Dó [#] 4	2	-7	-8	-10	-8,33333333
51	Ré 4	-3	-7	-7	-13	-9
52	Mi ^b 4	0	-5	-9	-21	-11,66666667
53	Mi 4	-2	-3	-6	-10	-6,33333333
54	Fá 4	0	-1	-2	-12	-5
55	Sol ^b 4	0	-5	-7	-10	-7,33333333
56	Sol 4	3	-7	-9	-9	-8,33333333
57	Lá ^b 4	0	-5	-6	-9	-6,66666667
58	Lá 4	0	-9	-10	-9	-9,33333333
59	Si ^b 4	1	-4	-7	-12	-7,66666667
60	Si 4	-2	-9	-9	-12	-10
61	Dó 5	5	-11	-12	-16	-13

ANEXO 2

CD-ROM contendo uma cópia deste trabalho em formato PDF (*Portable Document Format/a*), a simulação no formato NKI (instrumento do Kontakt 5), as amostras capturadas do órgão original editadas e compactadas em formato 7Z (arquivo do *software 7-zip*), gravações de áudio do órgão Yamaha Electone E-10AR e gravações correspondentes da simulação criada no *software Kontakt 5* em formato FLAC (*Free Lossless Audio Codec*).

Tabela 08 – LISTA DE ARQUIVOS CONTIDOS NO CD-ROM ANEXO 2.

Nome do arquivo	Conteúdo	Tamanho do arquivo
[comparação] 01. E-10AR – 332100.flac	Áudio	3.178 KB
[comparação] 02. Simulação – 332100.flac	Áudio	5.275 KB
[comparação] 03. E-10AR – 331313.flac	Áudio	3.052 KB
[comparação] 04. Simulação – 331313.flac	Áudio	5.728 KB
[comparação] 05. E-10AR – Full flutes.flac	Áudio	1.233 KB
[comparação] 06. Simulação – Full flutes.flac	Áudio	6.830 KB
[monolith] Yamaha Electone E-10AR (reg. flautas, manual superior).nki	Instrumento do Kontakt 5	23.840 KB
Amostras editadas – flautas E-10AR.7z	Áudio	225.278 KB
ARAUJO, Róger Borges – Síntese digital Yamaha Electone E-10AR (digital).pdf	Texto	5.008 KB
ARAUJO, Róger Borges – Síntese digital Yamaha Electone E-10AR (impressão; pdf-a).pdf	Texto	6.526 KB