

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA –
PIBIC/CNPq-Fundação Araucária-UEM
DEPARTAMENTO DE MÚSICA

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE EXPERIMENTOS
AUDITIVOS PSICOACÚSTICOS PARA AFERIR A PERTINÊNCIA E A
VALIDADE DE MODELOS MATEMÁTICOS DE PROPRIEDADES
HARMÔNICAS PARADIGMÁTICAS CRIADOS PELO PROJETO DE
PESQUISA DOCENTE 6182/2014.

Relatório contendo os resultados finais do projeto de iniciação científica vinculado ao PIBIC/CNPq-Fundação Araucária - UEM.

Orientador:
Prof. Dr. Marcus Alessi Bittencourt

Bolsista:
Marion Cleiton de Almeida

Maringá

2017

RESUMO

Esta pesquisa de Iniciação Científica desenvolveu um aplicativo online em PHP, Javascript e HTML5 de aplicação de um teste auditivo psicoacústico para aferir a validade de um dos modelos matemáticos criados pelo projeto de pesquisa docente “Formalização e abstração de propriedades psicoacústicas paradigmáticas dos aglomerados de sons de altura definida como embasamento teórico para uma nova disciplina de Harmonia” (processo 6182/2014), referente à classificação dos tipos T_n tricordes quanto à sua suavidade. Após o desenvolvimento do aplicativo, que propõe aos respondentes diversas votações entre dois tricordes por vez, houve a sua aplicação efetiva a diversos respondentes, o que resultou na coleta de 8.651 respostas que foram posteriormente processadas pelo método probabilístico de Bradley-Terry para gerar uma classificação de preferência por suavidade dos 19 tipos T_n tricordes. Comparada à classificação dos mesmos realizada por meios puramente teóricos desenvolvidos pela pesquisa docente 6182/2014, esta classificação obtida experimentalmente serve como um possível elemento validador e como elemento norteador para correções e calibrações mais precisas em suas modelagens matemáticas.

Palavras-chave: Psicoacústica, Teoria da Música, Harmonia Musical.

1. INTRODUÇÃO.

O projeto de pesquisa docente 6182/2014 visa a formalização e a abstração de propriedades psicoacústicas paradigmáticas dos aglomerados de sons de altura definida, com a finalidade de providenciar um embasamento teórico para uma nova disciplina de Harmonia. Dentre os elementos desenvolvidos por este corpo teórico estão diversas modelagens matemáticas de aspectos da compreensão musical da escuta humana. A premissa inicialmente utilizada como elemento de validação destes modelos teóricos é a de que se eles forem capazes de corroborar e validar conceitos, ideias e pontos de vista comumente mantidos por importantes teóricos musicais da história, então é provável que o modelo estrutural seja válido não apenas como ferramental para a avaliação e estudo das técnicas musicais do passado, mas também igualmente válido para revelar detalhes e informações interessantes sobre aqueles outros materiais musicais não tradicionalmente utilizados e passíveis de experimentação pela contemporaneidade.

No entanto, é também interessante testar experimentalmente as teses e conceitos desenvolvidos, avaliando se ouvintes humanos, quer leigos, aprendizes ou profissionais, são capazes de perceber aquilo que a teoria harmônica criada postula e prevê como sendo audível e importante musicalmente. Neste contexto, esta pesquisa de Iniciação Científica buscou o desenvolvimento e a realização de um experimento psicoacústico para especificamente aferir a validade do modelo teórico de suavidade no que tange a tipos transposicionais de três notas (também chamadas de tricordes) desenvolvido pela pesquisa docente em questão. Na teoria dos conjuntos aplicada à música (*Set-Theory*), um tipo transposicional, ou Tipo T_n , é uma classe de equivalência que representa a configuração única de classes intervalares compartilhada por todas as transposições de um conjunto de classes de altura diferentes (RAHN, 1980: 74-77). No universo do temperamento igual de doze notas por oitava há exatamente 351 destas configurações intervalares únicas, das quais 19 apenas são tricordes (COSTÈRE, 1954: 62). Esta foi a razão para a escolha do trabalho com tricordes em específico, pois além destes não serem muito complicados à percepção auditiva (porque são compostos por apenas três notas) eles existem em apenas 19 tipos diferentes, o que providencia um ambiente mais simplificado e conveniente para testar em um âmbito menor os métodos desenvolvidos para a aplicação e análise dos testes.

Precisando um pouco melhor que propriedades psicoacústicas exatamente são trabalhadas por esta presente pesquisa, por suavidade de uma sonoridade queremos dizer quão descomplicada e transparente aquela sonoridade parece ao ouvinte. Esta propriedade é comumente atribuída (ver PARNCUTT, 1989) a uma percepção combinada entre diversas propriedades psicoacústicas da sonoridade, como por exemplo a sua aspereza, a sua tonicidade e sua fonacidade, e a comunalidade entre suas notas.

A aspereza, também chamada de dissonância sensorial, é uma sensação auditiva grosseira de textura granulada que sentimos quando os nossos ouvidos estão sob o efeito dos batimentos rápidos (ou seja, oscilações periódicas de amplitude) causados pela interação entre vibrações sonoras simples de frequências muito próximas (HELMHOLTZ, 1895: 169).

Por comunalidade entre duas sonoridades entende-se a medida de quão semelhantes elas serão em relação aos seus espectros frequenciais, como define Bittencourt (2014):

Por comunalidade de um grupo de notas musicais quero dizer a medida da presença coincidente ou sucessiva total ou parcial de um mesmo conjunto de harmônicos nos espectros harmônicos individuais de todas as notas daquele grupo. Neste sentido, a comunalidade se refere especificamente à medida da intensidade e da qualidade do compartilhamento dos harmônicos convergentes entre as notas do grupo. (BITTENCOURT, 2014: 41)

A tonicidade de uma sonoridade é a medida de quão intensa é a raiz daquela sonoridade, sendo a sua raiz a nota musical que é igual ou equissonante (ou seja, equivalente por oitavação) à nota que é a melhor candidata para um som fundamental para todas as notas daquela sonoridade, ou seja, a nota que representa uma periodicidade geral capaz de abarcar todas ou o maior número das periodicidades individuais das notas da sonoridade (BITTENCOURT, 2016:406). No modelo teórico de Bittencourt (2016), a tonicidade de uma sonoridade é considerada como sendo dependente: a) da relativa força de sua raiz, crescendo quanto mais as probabilidades de raiz recaírem no melhor candidato para tal; b) de quão segregada em força for a raiz de suas concorrentes, crescendo quanto mais segregada ela for; e c) de quão única a raiz é, decrescendo quanto maior for o número de raízes da sonoridade (BITTENCOURT, 2016:414).

A fonacidade de uma sonoridade é a medida de quão intenso é o vértice daquela sonoridade, sendo o seu vértice a nota musical que é igual ou equissonante à nota que é a melhor candidata para um harmônico em comum para todas as notas da sonoridade

(BITTENCOURT, 2016:407). Semelhantemente à tonicidade, no modelo teórico de Bittencourt (2016) a fonicidade de uma sonoridade é considerada como sendo dependente: a) da relativa força de seu vértice, crescendo quanto mais as probabilidades de vértice recaírem no melhor candidato para tal; b) de quão segregado em força for o vértice de seus concorrentes, crescendo quanto mais segregado ele for; e c) de quão único o vértice é, decrescendo quanto maior for o número de vértices da sonoridade (BITTENCOURT, 2016:416).

Sobre o modelo teórico de suavidade com o qual trabalhamos aqui, este é resultado de uma adaptação ao universo do temperamento igual de doze notas por oitava do método de cálculo da simplicidade de um grupo de notas (termo que aqui pode ser considerado intercambiável com o termo “suavidade”) proposto pelo Modelo do §428 do Tratado de Harmonia de Bittencourt (2014: 135), que foi pensado originalmente no contexto da afinação justa. Neste modelo, a simplicidade (ou suavidade) de um grupo de notas é calculada levando-se em conta a quantidade média de comunalidade de seus intervalos musicais constituintes e dos aportes tônico e fônico causados pela tonicidade e fonicidade daquele grupo de notas, respectivamente (BITTENCOURT, 2014: 135).

Como a presente pesquisa de PIBIC envolve em específico apenas a obtenção e discussão analítica de classificações de suavidade realizadas por meio de experimentação psicoacústica, parece ser aqui desnecessária uma descrição pormenorizada do método matemático e dos algoritmos envolvidos no cálculo de tal classificação pelo modelo teórico. Desta maneira, a simples apresentação da classificação prevista pelo modelo teórico para as suavidades dos 19 tipos T_n tricordes (constante do gráfico da Fig 1) haverá de ser suficiente para servir como ponto de partida para esta pesquisa, classificação esta contra a qual serão comparadas as classificações experimentalmente obtidas.

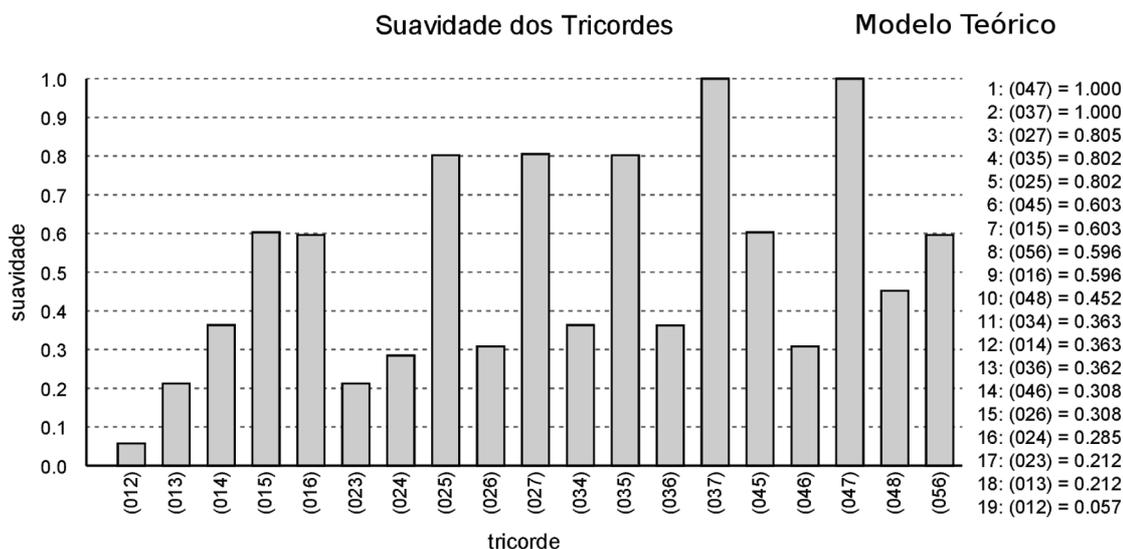


Figura 1.
Classificação dada pelo modelo teórico dos 19 tricordes quanto à sua suavidade.

2. OBJETIVOS, JUSTIFICATIVA E METODOLOGIA.

2.1. OBJETIVOS.

- **Objetivo Geral:**

1. Desenvolver e realizar testes psicoacústicos para aferir experimentalmente a pertinência e a validade do modelo matemático criado pelo projeto de pesquisa docente 6182/2014 para a quantização do potencial de suavidade dos tipos transposicionais, dentro do temperamento igual de 12 notas por oitava.

- **Objetivos Específicos:**

1. Criar procedimentos e métodos para a realização de um teste auditivo online para aferir experimentalmente uma quantização para o potencial de suavidade dos tipos transposicionais, em relação aos tipos transposicionais de cardinalidade 3 (tricordes), dentro do temperamento igual de 12 notas por oitava;
2. construir computacionalmente em HTML5, Javascript e PHP os procedimentos experimentais projetados, conforme os procedimentos e métodos apurados, de maneira a averiguar experimentalmente todas as configurações diferentes de classes intervalares possíveis com o temperamento igual de 12 notas por oitava;

3. aplicar em pessoas os procedimentos experimentais desenvolvidos, testando em especial indivíduos amostrados dentre a população de discentes e docentes do curso de graduação em Música da UEM, além de membros da comunidade externa;
4. processar os dados colhidos, preparando-os por meio da confecção de gráficos e tabelas;
5. discutir as experiências realizadas e o seu sucesso ou não na demonstração da validade e pertinência dos métodos matemáticos de quantização criados pelo projeto de pesquisa docente 6182/2014;
6. escrever um artigo científico formalizando as pesquisas realizadas;

2.2. JUSTIFICATIVA.

Toda vez que um compositor tem que lidar com a montagem de ideias musicais a partir de sons de altura definida, este tem que tecer decisões a respeito da manipulação de combinações simultâneas de notas musicais e sobre a lógica de seu desenvolvimento na sucessividade temporal. Na realização desta tarefa, o compositor deve ser capaz de compreender o valor expressivo e as propriedades de mistura dos diferentes tipos de simultaneidades de notas musicais e de formular mecanismos lógicos para a progressão sucessiva destes amálgamas sonoros. Após todos os experimentos musicais do século XX e do intenso trânsito de informação deste nosso mundo globalizado, é óbvia a inconveniência da instrução e treinamento de compositores a partir de ideias arcaicas e fora dos contextos atuais, pois estas, contidas nos tratados acadêmicos históricos tradicionais de teoria da Harmonia Musical podem apenas, no melhor dos casos, estabelecer como a Harmonia costumava ser concebida e praticada no passado e em tradições musicais específicas.

Neste sentido, o projeto de pesquisa docente "Formalização e abstração de propriedades psicoacústicas paradigmáticas dos aglomerados de sons de altura definida como embasamento teórico para uma nova disciplina da Harmonia" (processo 6182/2014) propõe uma tentativa unificada de codificação de princípios harmônicos básicos, de uma maneira relevante aos dias atuais de um mundo globalizado e compatível com a experimentação feita desde o início do século XX. Esta pesquisa está sendo realizada a partir da investigação de fenômenos psicoacústicos paradigmáticos e arquetípicos que são comuns a todos os seres

humanos e que assim têm impacto direto e embasador na formulação de novas metodologias de ensino de Harmonia, propondo guias mestras para a experimentação dos compositores contemporâneos, estimulando o desenvolvimento de novas maneiras de pensamento harmônico. O levantamento de tais princípios fundamentais pode também ajudar a explicar as razões pelas quais as tradições musicais se cristalizaram historicamente em certos procedimentos harmônicos específicos, fornecendo inclusive uma contextualização mais contemporânea e intertextual a textos teóricos tradicionais históricos.

É neste contexto que a presente pesquisa de Iniciação Científica se insere na pesquisa docente maior do projeto 6182/2014, provendo uma complementação e "zona-de-testes" experimental psicoacústica dos conceitos harmônicos teóricos criados pela pesquisa docente. Uma possível validação por meio de testes experimentais psicoacústicos das teorias harmônicas criadas pelo projeto de pesquisa docente em questão teria grande impacto na conclusão de seus estudos, servindo não apenas como elemento validador da pertinência de tais estudos, mas também propondo correções e calibrações mais precisas das modelagens matemáticas teóricas neles criadas. Este projeto de Iniciação Científica ainda se integra de maneira expressiva nas atividades de pesquisa, ensino e extensão do Laboratório de Pesquisa e Produção Sonora (LAPPSO) do Departamento de Música da UEM, criado em 2006 e cadastrado no diretório de grupos de pesquisa do CNPq. Somando-se às atividades de pesquisa do LAPPSO, este estudo ajudará com os esforços de produção de material bibliográfico do laboratório, acrescentando os fichamentos, resumos, análises e escritos originais produzidos pela pesquisa ao website wiki de documentação do LAPPSO.

2.3. METODOLOGIA.

Esta pesquisa se iniciou com o levantamento, estudo e fichamento do material bibliográfico que fundamenta os conceitos harmônicos de raiz, vértice, tonicidade, fonidade, comunalidade e potencial de aspereza, incluindo as propostas de quantização matemática destes conceitos, conforme os estudos realizados pelo projeto de pesquisa docente 6182/2014, que inclui como referências, dentre outros autores, trabalhos tais como SETHARES (1998), BARBOUR (1951), FORTE (1973) e RAHN (1980), COSTÈRE (1954); HELMHOLTZ (1895) e PARNCUTT (1989), além de OETTINGEN (1866) e BITTENCOURT (2011, 2014 e 2016). A esta etapa seguiu-se o desenvolvimento de um teste auditivo psicoacústico e seus

protocolos para aferir experimentalmente uma quantização para o potencial de suavidade dos tipos transposicionais dentro do temperamento igual de 12 notas por oitava, com especial foco nos 19 tipos transposicionais de cardinalidade 3 (trícordes), no sentido de verificar se as percepções auditivas intuitivas do conceito de suavidade por ouvintes humanos, em especial aquelas realizadas por ouvintes músicos e aprendizes de músicos, conseguem ser pertinentemente modeladas pelo modelo matemático de quantização proposto pelo projeto de pesquisa docente 6182/2014. O ponto de partida teórico para a criação destes testes foi pensado conforme a taxonomia básica de experimentos psicofísicos descrita em GESCHIEDER (1985), e foi embasado em diversos exemplos de experimentos psicoacústicos publicados no periódico *The Journal of the Acoustical Society of America*, em especial experimentos dos anos 60 e 70 do século XX que tornaram-se experimentos clássicos na área da psicoacústica, tais como HOUTSMA & GOLDSTEIN (1972), PLOMP (1964 e 1967), PLOMP & LEVELT (1965), SCHOUTEN, RITSMA & CARDOZO (1962) e SHEPARD (1964). Após isto, os testes projetados foram construídos e implementados computacionalmente no Laboratório de Pesquisa e Produção Sonora do DMU-UEM e efetivamente aplicados a pessoas, incluindo indivíduos amostrados especialmente dentre a população de discentes e docentes do curso de graduação em Música da UEM, segundo os protocolos desenvolvidos. A esta fase de testes também seguiu-se o processamento dos dados experimentais colhidos na forma de tabelas e gráficos. O projeto finalizou-se com a confecção de comentários críticos a respeito da capacidade dos testes de validar o método de modelagem matemática dos conceitos harmônicos estudados e com a formalização dos estudos realizados em formato de artigo científico, o que incluiu ainda a transferência dos materiais bibliográficos gerados pela pesquisa para o website wiki de documentação do Laboratório de Pesquisa e Produção Sonora (LAPPSO) da UEM.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

3.1. A CRIAÇÃO DO SOFTWARE PARA REALIZAÇÃO DOS TESTES.

Para serem feitas as votações, foram necessários a criação e o desenvolvimento de um software online, um ambiente que proporcionasse um fácil acesso e que pudesse ser utilizado quando o candidato tivesse tempo disponível para fazer os testes. O programa foi criado pelo orientador deste projeto de pesquisa utilizando quatro ferramentais básicos: o HTML, o

Javascript, o PHP e o Web Audio API. O HTML (HyperText Markup Language, ou linguagem de marcação de hipertexto) é uma linguagem de marcação utilizada amplamente na construção de páginas na Web e que são interpretadas por softwares navegadores da Internet (BROOKS, 2007: 163). O JavaScript é uma linguagem de programação orientada a objetos projetada para a manipulação de conteúdo em documentos HTML (BROOKS, 2007: 164), que roda no lado do aparato computacional do usuário e dentro do ambiente comum gerenciado por simples navegadores de internet. O Web Audio API (Application Programming Interface, ou interface para programação de aplicativos) é uma biblioteca implementada em Javascript que permite a realização de tarefas em tempo real de síntese sonora e de mixagem de áudio dentro do ambiente HTML comum gerenciado por simples navegadores de internet (ver <https://webaudio.github.io/web-audio-api>); esta biblioteca serviu, por exemplo, para criar o componente sonoro de audição dos testes ministrados pelo aplicativo. O PHP (PHP: Hypertext Preprocessor, ou PHP: pré-processador de hipertexto), é uma linguagem de programação para a construção de websites dinâmicos e interativos, que roda no lado do servidor de Web (DOYLE, 2010: 3) e que serve para necessidades computacionais mais complexas e/ou que precisem ser realizadas fora do aparato computacional do usuário. Esta linguagem serve, por exemplo, para implementar os componentes relativos ao gerenciamento do banco de dados de testes a serem ministrados e relativos ao processo de escolha e aplicação dos testes pelo aplicativo.

3.2. DESCRIÇÃO DO SOFTWARE.

O software para aplicação dos testes foi disponibilizado no site do Laboratório de Pesquisa e Produção Sonora da UEM (LAPPSO-UEM), no seguinte endereço:

http://www.dmu.uem.br/Costere/tests/App_v2.php

Ao acessar a página, é apresentado ao usuário o seguinte layout:

Teste Auditivo
INSTRUÇÕES

Ouçã as seguintes sonoridades e responda:

Sonoridade 1

Sonoridade 2

Volume:

Qual é a sonoridade mais **suave** (ou menos densa ou menos complicada) aos seus ouvidos?

a primeira
 a segunda
 elas são igualmente suaves (ou densas)

Seu nome:

Sua formação:

 leigo
 aluno de música (menos de 5 anos de estudo)
 aluno de música (de 5 a 10 anos de estudo)
 aluno de música (mais de 10 anos de estudo)
 músico profissional

Copyright © 2017 – Laboratório de Pesquisa e Produção Sonora (LAPPSO-UEM)

Figura 2.
Interface da página web do software de aplicação do teste.

3.2.1. PRIMEIRA ETAPA DE USO DO SOFTWARE.

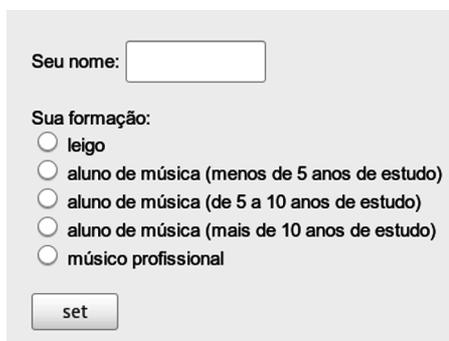
No cabeçalho do aplicativo (ver Fig. 2, ao topo) há a palavra “Instruções” e, quando se clica sobre ela, o usuário é direcionado para um *link* do *youtube* que contém um breve vídeo tutorial sobre como proceder ao teste.

Link: <<https://www.youtube.com/watch?v=WeuIEEqD9Pc&t=9s>>

3.2.2. SEGUNDA ETAPA DE USO DO SOFTWARE.

Nesta etapa, o usuário deverá preencher um formulário com algumas informações sobre si mesmo (ver Fig. 3). Ele colocará seu nome, ou o nome real ou um nome fictício, e ainda marcará o nível de sua formação musical, dentre leigo, aluno de música com menos de 5 anos de estudo, aluno de música com entre 5 a 10 anos de estudo, aluno de música com mais de 10 anos de estudo e músico profissional. Este reconhecimento de nome e tipos de formação serve para permitir filtragens dos dados e, assim, poder realizar análises dos dados

separadamente por tipos de formação musical e comparações entre diversos grupos de população e níveis.



Seu nome:

Sua formação:

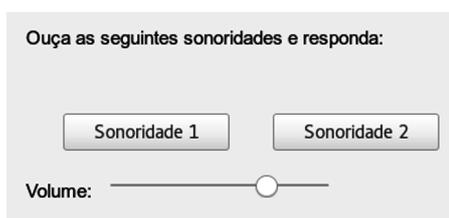
- leigo
- aluno de música (menos de 5 anos de estudo)
- aluno de música (de 5 a 10 anos de estudo)
- aluno de música (mais de 10 anos de estudo)
- músico profissional

Figura 3.
Componente do formulário da página web do software de aplicação do teste.

Feito o preenchimento do formulário, deve-se apertar o botão *set* logo abaixo para enviar e salvar as informações. A cada votação feita, todas estas informações de nome e formação continuarão salvas, não necessitando serem preenchidas novamente até que o participante saia do site. Caso o ouvinte queira fazer mais votações posteriormente, é necessário acessar novamente o site e preencher novamente da mesma forma o formulário.

3.2.3. TERCEIRA ETAPA DE USO DO SOFTWARE.

É nesta etapa que efetivamente é iniciada a aplicação propriamente dita do teste ao usuário respondente. Aqui o usuário é apresentado a dois botões (ver Fig. 4), “sonoridade 1” e “sonoridade 2”.



Ouçã as seguintes sonoridades e responda:

Volume:

Figura 4.
Componente do teste propriamente dito da página web do software de aplicação do teste.

Ao clicar em um de tais botões, o aplicativo irá tocar para o respondente um áudio contendo um tricorde específico. Como há dois botões, há dois tricordes para serem comparados pelo respondente, em estilo de “batalha” um contra um. Estes tricordes são escolhidos aleatoriamente pelo software dentre os 19 tipos transposicionais tricordes

existentes no temperamento igual de doze notas por oitava (COSTÈRE, 1954: 62). Os tricordes são sempre tocados com suas notas em disposição fechada segundo a sua forma normal, ou seja, na rotação do tricorde na qual as suas notas apresentam-se da maneira mais compactada possível ao grave (RAHN, 1980: 31). Nesta posição, estima-se que as suavidades e asperezas produzidas pelos intervalos daquele tipo transposicional apresentem-se da maneira mais forte e concentrada possível, equalizando assim a execução das sonoridades sempre da mesma maneira padronizada. Para a primeira sonoridade, o software escolhe aleatoriamente uma transposição do tricorde escolhido dentro de um âmbito de um trítone ao redor da sua transposição iniciada na nota Dó uma oitava abaixo da nota Dó central do piano. Para a segunda sonoridade, a transposição do tricorde escolhida é aquela que possui a maior comunalidade (ver a introdução deste trabalho) com a transposição escolhida para a primeira sonoridade. Quanto maior for a comunalidade entre duas sonoridades, mais semelhantes elas serão em relação aos seus espectros frequenciais. Assim, escolher para a segunda sonoridade a transposição com maior comunalidade em relação à primeira sonoridade serve para minimizar um possível impacto que a distância tonal entre tais sonoridades poderia exercer sobre o respondente, prejudicando a sua percepção e complicando o seu processo de decisão sobre a suavidade das sonoridades.

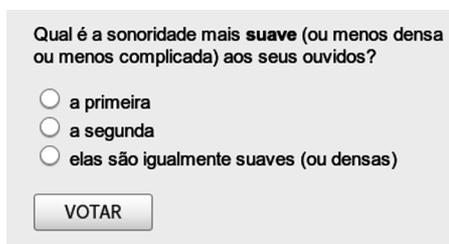
Quanto aos sons utilizados na execução das sonoridades, o software realiza uma mixagem em tempo real de sons individuais de notas musicais previamente preparados. Foram feitas duas coleções de amostras de áudio, uma contendo sons reais de vozes humanas masculinas, e outra contendo sons sintéticos criados via síntese aditiva pela soma dos doze primeiros harmônicos de uma nota, de maneira a que cada harmônico tenha uma amplitude igual ao recíproco de seu número de ordem de harmônico, ou seja, o harmônico 1 tem amplitude de 1/1, o harmônico 2 tem amplitude de 1/2, o 3 de 1/3, o 4 de 1/4, e assim por diante.

Cada vez que os botões da sonoridade 1 ou da sonoridade 2 são apertados para serem ouvidos os tricordes, o programa também escolhe de forma aleatória uma espacialização estereofônica diferente para cada uma de suas notas. A espacialização entre os intervalos em ouvidos diferentes pode mascarar um pouco a aspereza entre os intervalos, assim apenas posições estereofônicas mais próximas ao centro podem ser escolhidas, para evitar este tipo de problema. Abaixo dos botões das sonoridades temos ainda uma *slider* horizontal que controla o volume do áudio do aplicativo. A posição do volume persiste através de múltiplas votações,

ficando salva. Caso o ouvinte queira novamente alterar o volume, ele deverá apenas arrastar o *slider* para a direita (para aumentar o volume) ou esquerda (para abaixá-lo). O respondente pode ouvir as sonoridades quantas vezes ele achar necessário.

3.2.4. QUARTA ETAPA DE USO DO SOFTWARE.

Feita a audição das sonoridades, o ouvinte deverá responder à seguinte pergunta: “qual é a sonoridade mais suave (ou menos densa ou menos complicada) aos seus ouvidos?” (ver Fig. 5).



Qual é a sonoridade mais suave (ou menos densa ou menos complicada) aos seus ouvidos?

a primeira

a segunda

elas são igualmente suaves (ou densas)

VOTAR

Figura 5.
Componente da votação da página web do software de aplicação do teste.

Caso o ouvinte não se sinta inclinado a escolher uma das duas opções (isto porque ele acha que os dois tricordes são iguais em suavidade ou igualmente densos), existe a possibilidade de voto de empate. Para que o voto seja realmente efetivado, o ouvinte deverá clicar sobre a opção escolhida, dentre as três alternativas, e clicar no botão de votar. A cada voto feito, o site escolhe e apresenta ao usuário uma outra nova batalha entre dois outros tricordes. O software monitora as batalhas realizadas, não repetindo nenhuma delas novamente até que todas as batalhas possíveis entre dois tricordes sejam realizadas. Neste caso específico de tricordes, existem 171 maneiras diferentes de se escolher pares de objetos dentre a população de 19 objetos, isto porque, sendo 19 o número de tricordes possíveis, o primeiro tricorde poderá realizar batalhas com 18 outros tricordes, o segundo com outros 17 (porque ele já batalhou anteriormente com o primeiro), o terceiro com outros 16 (porque ele já batalhou anteriormente com o primeiro e o segundo) e assim por diante, ou seja, $18+17+16+15+14+13+12+11+10+9+8+7+6+5+4+3+2+1=171$. O software apenas irá apresentar novamente ao respondente uma mesma batalha quando todas as outras 170 batalhas tiverem sido apresentadas. Esta característica foi acrescentada ao software para sempre

garantir a aquisição de coleções completas de respostas, ou seja, coleções que incluem respostas para todas as batalhas possíveis entre dois tricordes. À medida que os usuários respondentes vão realizando votações, o software vai acumulando em um banco de dados no servidor web todas as respostas dadas pelos respondentes, para processamento posterior e análise.

3.3. HISTÓRICO DA APLICAÇÃO DO TESTE.

Os testes começaram inicialmente de maneira interna apenas entre orientador e orientando, para verificar se o ambiente de software proporcionava adequadamente e fidedignamente os testes.

A princípio, os áudios dos testes foram feitos apenas com os samplers vocais, os quais providenciavam vários sons em uma região média de tessitura. Os samplers vocais têm aproximadamente a mesma duração temporal de cerca de quatro segundos. Após o teste ter sido experimentado de maneira interna, foi liberado um pré-teste a um pequeno grupo de pessoas. Após um período de votações e análises dos testes, chegou-se a conclusão de que o áudio com a voz humana poderia não ser uma boa opção, já que sons naturais possuem uma certa oscilação natural causando microvariações em sua afinação, o que poderia ocultar detalhes importantes das asperezas entre as notas e até mesmo dos harmônicos em comum. Assim, optou-se por fazer os testes com áudios contendo sons feito de maneira sintética, o que mostraria melhor as asperezas e os harmônicos em comum entre as notas dos tricordes. Neste pré-teste não havia nenhuma provisão no programa que cuidasse se os 171 testes estavam sendo completados. Ao verificar-se a dificuldade em adquirir coleções completas de dados neste formato, observou-se que seria necessário um dispositivo no programa que fizesse justamente este controle, o que foi implementado no aplicativo.

3.3.1. PRIMEIRA APLICAÇÃO DO TESTE.

Na primeira aplicação efetiva do teste, foi programado no software um dispositivo que fazia a monitoração das batalhas efetuadas, isto para que todos os 171 testes fossem sempre realizados, com o intuito de não favorecer algum tricorde permitindo mais votações a este do

que outro, e mantendo um equilíbrio entre as batalhas. Os sons utilizados pelo aplicativo na execução dos tricordes foram os sons sintéticos, isto durante todo o período de aplicação.

Foram escolhidos alguns voluntários alunos do Curso de Graduação em Música da UEM, e a estes foi enviado um e-mail com algumas explicações sobre o projeto, um *link* para o site do aplicativo e uma breve explicação com tutorial via *youtube*. O e-mail enviado aos participantes dos testes foi o seguinte:

“Este teste é uma pesquisa voltada para a Teoria da Harmonia. O objetivo aqui é o de classificar um certo numero de combinações harmônicas, da mais simples para a mais complicada. Para isto, este teste visa extrair esta classificação a partir da intuição auditiva de um certo número de pessoas, dentre músicos e não músicos, por meio de “batalhas” entre duas combinações harmônicas por vez, nas quais o ouvinte escolhe qual combinação harmônica ele acha a mais simples. Uma vez que o sistema estiver carregado com um grande número de resultados destas batalhas, um algoritmo estatístico computa qual seria a ordem de classificação para todas as combinações harmônicas testadas, baseado em todas as respostas (votações) dadas. Pretende-se com este teste realizar uma comparação entre uma classificação realizada por meios puramente teóricos e esta classificação realizada por meios empírico-intuitivos. Para participar, visite a página da internet <http://www.dmu.uem.br/Costere/tests/App_v2.php> e siga as instruções ali contidas. Há também na mesma página um link para um vídeo instrucional no *youtube*. Em especial, atente para o preenchimento do pequeno formulário on-line (à direita na página) que deve ser preenchido e submetido antes das votações. Após a submissão do formulário, as informações persistem na página e não precisam mais ser preenchidas. O nome fornecido no formulário pode ser fictício, apenas procure sempre realizar as votações sob o mesmo nome. Cada vez que é realizada uma votação, a página carrega um novo teste e o ouvinte pode parar quando ele quiser. Não é necessário fazer as votações de uma vez só: preenchendo-se o formulário novamente da mesma maneira, o ouvinte pode retomar posteriormente as votações quando lhe for mais conveniente.

O projeto de extensão do Laboratório de Pesquisa e Produção Sonora (LAPPSO) da UEM poderá fornecer a quem interessar certificados de participação neste projeto, na proporção de cinco horas-atividades por cento e setenta e um testes (batalhas) realizados. Para isso, o formulário do participante deverá ter sido preenchido adequadamente antes das votações utilizando sempre o mesmo nome, quer verdadeiro ou fictício. Para requisitar o certificado basta enviar um e-mail para este mesmo endereço (marion.mxt@hotmail.com) informando o nome completo, RA e o nome fictício usado nas votações do teste.

OBS: As votações serão encerradas no dia 21/05/2017.

Desde já agradecemos pela sua participação nesta pesquisa.”

As votações ficaram abertas em um período de quinze dias, entre o dia 05/05/2017 até 21/05/2017. Para alunos de outras áreas que participaram das votações, foi oferecido 2 horas-atividades por cem votações.

3.3.2. SEGUNDA APLICAÇÃO DO TESTE.

Após uma análise inicial dos resultados da primeira aplicação do teste, foi proposto um segundo período de votações, mas agora com o software utilizando exclusivamente os sons de voz humana para executar os tricordes, criando uma nova expectativa de análise para ver se o resultado da segunda votação se aproximaria ao primeiro resultado, isto tentando validar ainda mais a pesquisa e trazendo uma melhor comparação com a teoria.

A voz humana, desde os primórdios, tem sido o grande meio de comunicação entre os humanos. É o som que estamos mais acostumados a ouvir, seja no canto ou na voz falada. Desta forma, optou-se por fazer novamente os testes com os sons de vozes humanas. Os testes foram abertos desta vez também a alunos de outros cursos do campus da UEM e a membros da comunidade externa à UEM. Esta segunda leva de testes ficou aberta por 15 dias, do dia 20/06/2017 ao 04/07/2017.

3.4. PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS.

A partir do conjunto de todas as respostas das votações coletadas, que representam batalhas entre dois tricordes por vez, foi utilizado o método de Bradley & Terry para compilar uma classificação de preferência dos 19 tricordes. O Modelo de Bradley-Terry (BRADLEY & TERRY, 1952) é um modelo probabilístico bastante utilizado atualmente e que permite determinar ou prever uma ordem classificatória de preferência entre os elementos de uma determinada população por meio da análise dos resultados de comparações individuais realizadas entre dois elementos por vez. Este modelo foi adaptado em linguagem C++ pelo orientador, a partir de exemplos de implementações pesquisadas na internet.

Foram criadas também no código do software em C++ de processamento possibilidades de filtragem das respostas arquivadas no banco de dados tanto por nível de experiência do respondente, por respondente individual (via o pseudônimo por ele utilizado), e pela etapa de teste (primeira etapa, com sons sintéticos, e segunda, com sons de voz humana).

As classificações dos 19 tricordes obtidas pelo método estatístico de Bradley & Terry a partir das diversas coleções de respostas do banco de dados foi então utilizada para a criação dos diversos gráficos que serão apresentados a seguir, que colocam em evidência para análise o resultado do processamento realizado dos dados experimentais.

3.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.

3.5.1. RESULTADOS DOS TESTES COM SONS SINTÉTICOS.

A Figura 6 a seguir mostra um gráfico com a classificação experimentalmente obtida dos 19 tipos T_n tricordes quanto à sua suavidade, comparada à classificação teoricamente obtida (mostrada em retângulos mais escuros e estreitos), realizada por meio de sons sintéticos exclusivamente, dentre discentes do curso de música UEM.

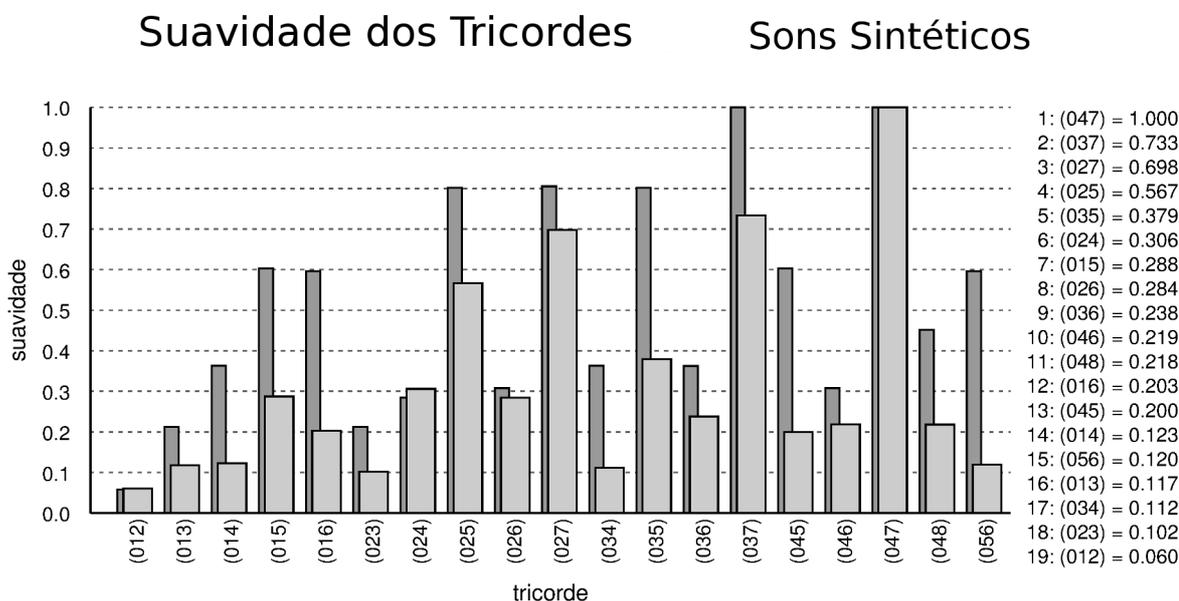


Figura 6.
Classificação experimentalmente obtida dos 19 tricordes quanto à sua suavidade, comparada à classificação teoricamente obtida (retângulos mais escuros), realizada por meio de sons sintéticos. Respondentes do curso de Música da UEM.

O resultado modela razoavelmente o modelo teórico proposto, porém com algumas curiosidades a serem discutidas. No modelo teórico, prevê-se que o Tipo Tn (0 5 6) seja mais suave comparado ao Tipo Tn (0 4 8). O resultado experimental sugere que a audição intuitiva dos respondentes considera o (0 4 8) mais suave do que o (0 5 6).

Quantidade de Votos			
(0 5 6)	(0 4 8)	Empate	Total de Votações
5	20	7	32
15.625%	62.500%	21.875%	

Outro exemplo a ser discutido é o resultado entre os Tipos Tn (0 2 7), (0 2 5) e (0 3 5). Segundo o gráfico do modelo teórico, o (0 2 7) fica acima do (0 3 5) e do (0 2 5), e o (0 3 5) e (0 2 5) estão em empate em questão da simplicidade da sonoridade. Os resultados das votações mostram o mesmo. Veja as estatísticas de votações entre (0 2 7) e (0 2 5):

(0 2 7)	(0 2 5)	Empate	Total de Votações
19	3	11	33
57.576%	9.091%	33.333%	

O número de vitórias do Tipo Tn (0 2 7) é bem maior, e o número de empates acaba sendo maior do que o número de vitórias do Tipo Tn (0 2 5). Agora veja as estatísticas de votações entre (0 2 7) e (0 3 5):

Quantidade de Votos			
(0 2 7)	(0 3 5)	Empate	Total de Votações
21	1	8	30 votações
70.000%	3.333%	26.667%	

Aqui, o número de vitórias do Tipo Tn (0 2 7) é bem maior. E o número de empates acaba sendo também maior do que o número de vitórias do Tipo Tn (0 3 5). Seguem-se agora as estatísticas de votações entre (0 2 5) e (0 3 5):

Quantidade de Votos			
(0 2 5)	(0 3 5)	Empate	Total de Votações
10	8	15	33
30.303%	24.242%	45.455%	

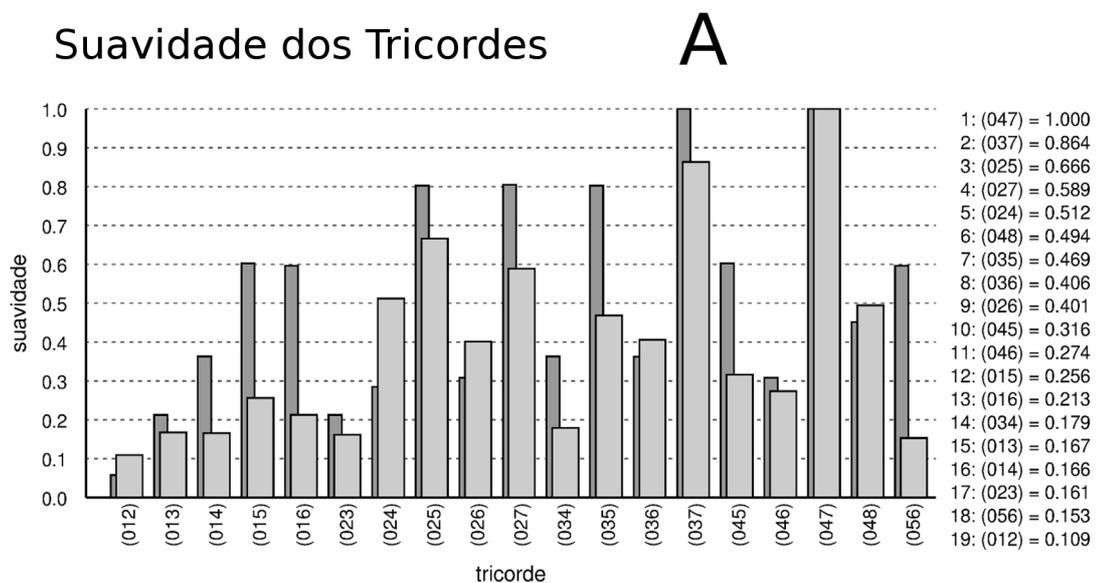
O Tipo Tn (0 2 5) vence por poucas votações contra o (0 3 5) mas o número de empates acaba sendo maior do que o número de vitórias de cada tricorde. Assim, percebemos que os resultados corroboram com o que a teoria postula, que é que de alguma forma as suas suavidades são comparativamente equivalentes.

Vejam agora o caso dos tricordes (0 1 5) e (0 4 5), que são inversão um do outro e pro isso a teoria diz que eles haverão de possuir as mesmas propriedades de suavidade entre eles. Estes dois tricordes possuem intervalos de segundas menores e isto faz com que eles caiam no *ranking* consideravelmente em relação à suavidade.

(0 4 5)	(0 1 5)	Empate	Total de Votações
12	10	9	31
38.710%	32.258%	29.032%	

Uma análise individual entre os tricordes (0 4 5) e (0 1 5) mostra que não existe muita diferença de escuta entre eles, uma vez que o tríplice (0 4 5) ganha por apenas duas votações a mais e o número de empates está bem próximo do número de vitórias.

Agora vejamos uma análise realizada apenas a partir das respostas de dois ouvintes de nível de experiência 5, ou seja, músico profissional (ver Fig. 7 A e B):



Suavidade dos Tricordes

B

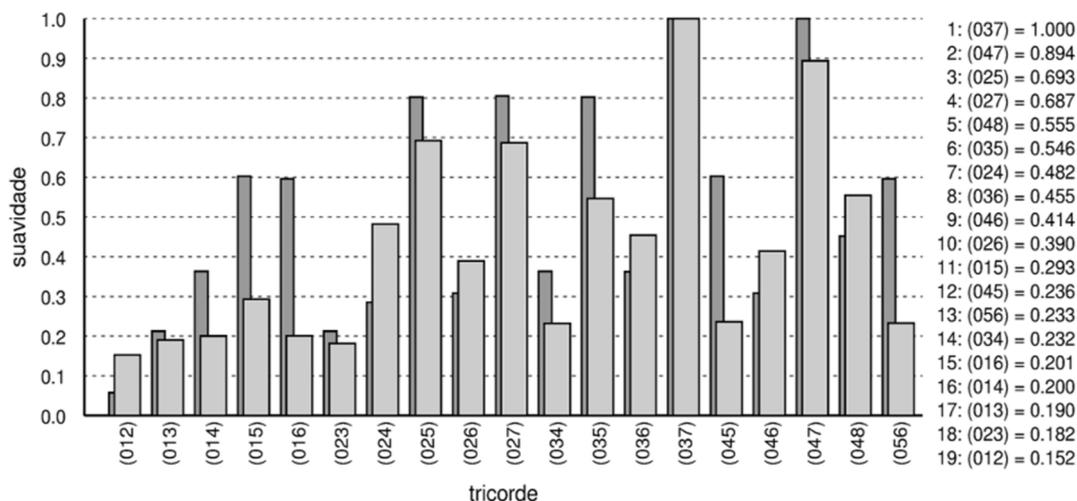


Figura 7 (A e B).

Duas classificações experimentalmente obtidas dos 19 tricordes quanto à sua suavidade, comparada à classificação teoricamente obtida (retângulos mais escuros), selecionada dentre dois respondentes A e B do curso de Música da UEM.

Nota-se aqui que existem diferenças entre as respostas de ouvintes de um mesmo nível. O resultado do ouvinte A mostra mais suave o tricorde (0 4 7) do que o (0 3 7). O resultado do ouvinte B mostra que (0 3 7) é mais suave do que (0 4 7). Outro resultado diferente encontra-se nos tricordes (0 2 4) e (0 3 5): o ouvinte A demonstra o tricorde (0 2 4) mais suave que o (0 3 5), o ouvinte B demonstra o tricorde (0 3 5) mais suave. Nos tricordes (0 4 5) e (0 4 6) também existe resultado diferente para os ouvintes: para o ouvinte A, o tricorde (0 4 5) é mais suave que o (0 4 6), enquanto que para o ouvinte B o tricorde (0 4 6) é o mais suave deles. Existem também concordâncias entre os resultados. Sobre os tricordes (0 3 5) e (0 4 8), tanto o ouvinte A como o ouvinte B consideram o tricorde (0 4 8) como sendo mais suave do que o tricorde (0 3 5). Porém, o ouvinte A acha o tricorde (0 2 4) mais suave que o (0 4 8) e o (0 3 5). Para o ouvinte B, este considera que o tricorde (0 2 4) é menos suave do que os tricordes (0 4 8) e (0 3 5). Apesar disto, pode-se verificar semelhanças nos dois gráficos (ver Figs. 7A e 7B), ainda que existam algumas discordâncias entre os resultados. Estas diferenças podem dar-se pelo tipo de treinamento da escuta musical que cada um teve ao longo de sua formação.

3.5.2. RESULTADOS DOS TESTES COM SONS DE VOZ HUMANA.

Primeiramente, avaliaremos aqui os resultados apenas relativos às respostas dadas por respondentes alunos do curso de Música UEM (ver Fig. 8).

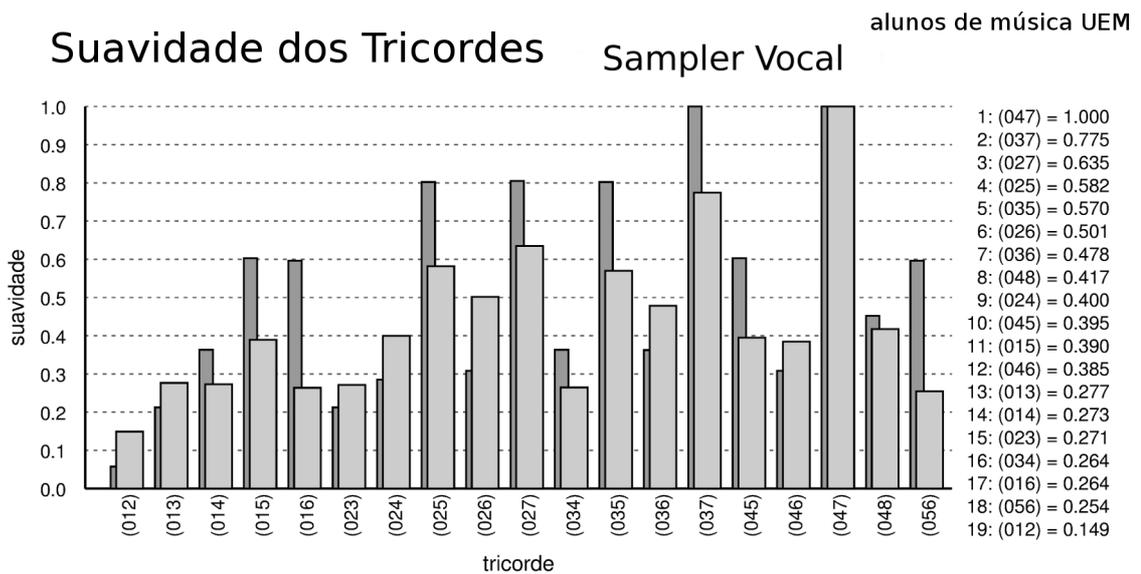


Figura 8.

Classificação experimentalmente obtida dos 19 tricordes quanto à sua suavidade, comparada à classificação teoricamente obtida (retângulos mais escuros), realizada por meio de sons de voz humana. Dados de alunos do curso de Música da UEM.

Aqui, os Tipos T_n (0 4 5), (0 1 5), (0 5 6) e (0 1 6) se encontram em posições mais baixas do que o demonstrado no gráfico da teoria. Isso possivelmente seja resultado dos intervalos que estes tricordes específicos possuem. Pela análise dos resultados, tricordes que contêm segundas menores, trítonos ou os dois tipos de intervalos juntos possivelmente causam uma aspereza maior, uma vez que suas notas possuem poucos harmônicos em comum. Alguns tricordes que estavam em posições mais baixas no modelo teórico e que sobem no *ranking* experimental são os tricordes (0 2 4), (0 2 6) e o (0 3 6). Estes três tricordes mencionados têm em sua estrutura intervalos de terças maiores ou menores. Esta característica parece ter influenciado bastante os respondentes, o que gerou no resultado experimental uma maior suavidade para estes três tricordes.

Em seguida, avaliaremos os resultados apenas relativos às respostas dadas por respondentes alunos de outros cursos da UEM e da comunidade externa (ver Fig. 9).

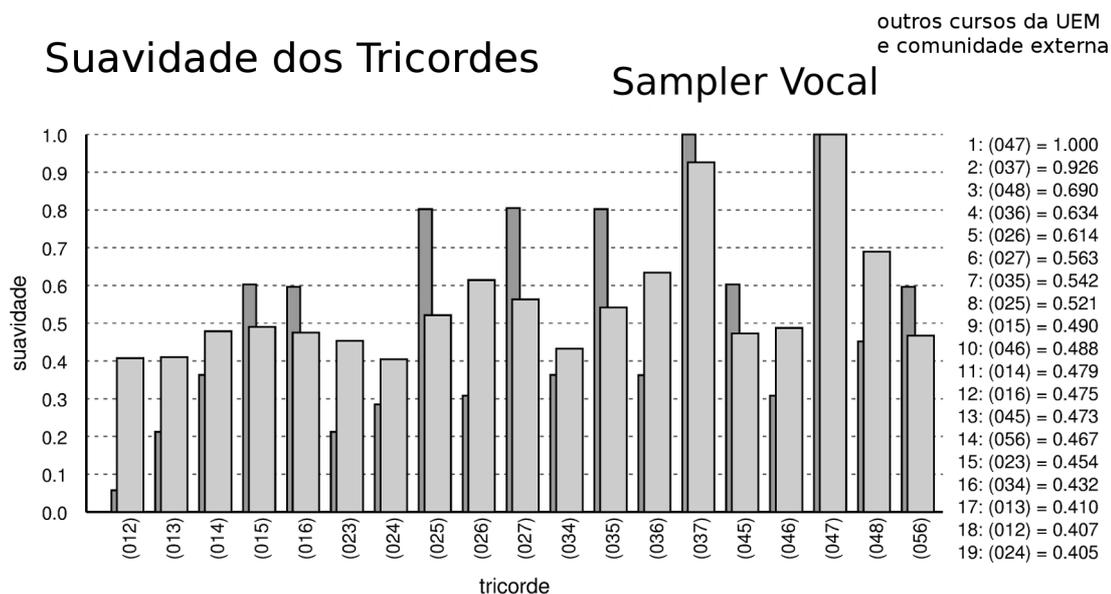


Figura 9.

Classificação experimentalmente obtida dos 19 tricordes quanto à sua suavidade, comparada à classificação teoricamente obtida (retângulos mais escuros), realizada por meio de sons de voz humana. Dados de alunos de outros cursos da UEM e comunidade externa.

No gráfico referente à comunidade externa e alunos de outros cursos da UEM, temos um gráfico muito mais plano e aglutinado ao centro, o que revela a falta de diferenciação nas respostas dos ouvintes, muito provavelmente pela falta de treinamento musical. Aqui fica evidenciado o fato de que o treinamento musical certamente torna os ouvintes mais atentos às diferentes gradações de suavidade das sonoridades harmônicas, como uma rápida comparação das Figuras 8 e 9 pode mostrar. Porém, percebe-se que no topo da lista figuram ainda o tricorde maior e o tricorde menor. Em todos os resultados, estes dois tipos Tn sempre ganham dos demais tricordes.

A Figura 10 mostra uma comparação entre a classificação realizada por meio dos dados provenientes da população do curso de música da UEM contra a classificação realizada por meio dos dados da população externa. Apesar da clara falta de diferenciação nas respostas dos ouvintes leigos em música, ainda nota-se semelhanças nas respostas, especialmente no caso de tricordes que incluem ou apenas intervalos mais simples ou apenas intervalos mais complicados. Neste sentido, é sempre quando os tricordes mesclam intervalos de complicações diferentes que entram em jogo as maiores dificuldades nas respostas dadas, com um sensível maior sucesso de diferenciação por parte daqueles respondentes com treinamento musical.

Resultado do curso de música UEM	Tricordes	Resultado população externa	Ganho ou perda de posições Ranking
1°	(0 4 7)	1°	0
2°	(0 3 7)	2°	0
3°	(0 2 7)	6°	-3
4°	(0 2 5)	8°	-4
5°	(0 3 5)	7°	-2
6°	(0 2 6)	5°	+1
7°	(0 3 6)	4°	+3
8°	(0 4 8)	3°	+5
9°	(0 2 4)	19°	-10
10°	(0 4 5)	13°	-3
11°	(0 1 5)	9°	+2
12°	(0 4 6)	10°	+2
13°	(0 1 3)	17°	-4
14°	(0 1 4)	11°	+3
15°	(0 2 3)	15°	0
16°	(0 3 4)	16°	0
17°	(0 1 6)	12°	+5
18°	(0 5 6)	14°	+4
19°	(0 1 2)	18°	+1

Figura 10.

Comparação dos resultados obtidos pelos dados da população do curso de música da UEM contra os da população externa.

3.5.3. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS TESTES COM SONS SINTÉTICOS E COM SONS DE VOZ HUMANA.

Os sons sintéticos, por terem sido criados artificialmente, soam em geral mais ásperos do que os sons dos samplers vocais. Observe mais uma vez os gráficos referentes aos testes realizados com sons sintéticos e com o sampler vocal (Figuras 6 e 8). Pelos resultados demonstrados, os sons vocais produziram valores de suavidade menos diferenciados que os

dos sons sintéticos, isto porque nos sons naturais da voz humana existem sempre pequenas variações imprevisíveis em suas frequências – o que não ocorre nos sons artificiais sintéticos utilizados – e esta característica ameniza as asperezas causadas pelas interações dos harmônicos das notas das sonoridades. No caso dos sons sintéticos, justamente porque suas frequências são sempre fixas, ficam mais evidenciados os batimentos e asperezas causados pela interação das notas.

Avaliando-se mais detalhadamente as variações dos dados processados comparando-se as classificações de tricordes produzidas pelos testes por meio de sons sintéticos contra o por meio de sons de voz humana, foi possível montar a tabela da Figura 11.

Aqui, os resultados mostram que, nos cinco primeiros resultados, não existem mudanças; o décimo-quarto tricorde mantém a mesma posição e o tricorde décimo-nono também mantém sua posição. Os demais tricordes mudam entre duas e três posições diferentes, sendo que os tricordes que mais sofrem mudanças são o (0 1 5), que perde 4 posições, e o (0 1 6), que perde 5 posições no ranking. O resultados do sons vocais realmente parecem dificultar a audição dos batimentos e asperezas dos intervalos das sonoridades.

Classificação Som Sintético	Tricordes	Classificação Som Vocal	Quantidade de ganho ou perda no ranking
1°	(0 4 7)	1°	0
2°	(0 3 7)	2°	0
3°	(0 2 7)	3°	0
4°	(0 2 5)	4°	0
5°	(0 3 5)	5°	0
6°	(0 2 4)	9°	-3
7°	(0 1 5)	11°	-4
8°	(0 2 6)	6°	+2
9°	(0 3 6)	7°	+2
10°	(0 4 6)	12°	-2
11°	(0 4 8)	8°	+3
12°	(0 1 6)	17°	-5
13°	(0 4 5)	10°	+3

14°	(0 1 4)	14°	0
15°	(0 5 6)	18°	-3
16°	(0 1 3)	13°	+3
17°	(0 3 4)	16°	+1
18°	(0 2 3)	15°	+3
19°	(0 1 2)	19°	0

Figura 11.

Tabela da mudança das classificações dos tricordes nos testes com sons sintéticos contra os testes com sons de voz humana.

3.5.3. COMBINAÇÃO DAS RESPOSTAS VIA SONS SINTÉTICOS E VIA SONS VOCAIS.

O gráfico da Figura 12 é o resultado do processamento coletivo do banco de dados de respostas dos testes por meio de sons sintéticos e por meio de sons vocais, incluindo apenas os respondentes alunos da UEM do Curso de Música, descartando-se os respondentes leigos em música. Este banco de dados de respostas soma um total de 8.651 votações.

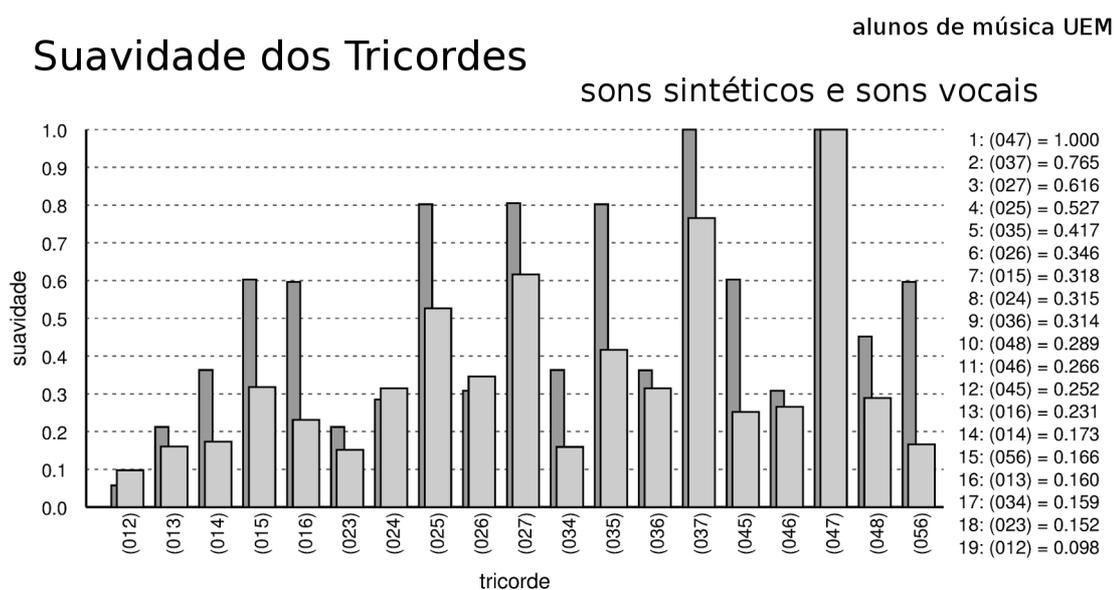


Figura 12.

Classificação experimentalmente obtida dos 19 tricordes quanto à sua suavidade, comparada à classificação teoricamente obtida (retângulos mais escuros), realizada por meio tanto de sons sintéticos como de sons vocais. Dados de alunos do Curso de Música da UEM.

A junção dos resultados chega muito próximo ao resultado dos sons sintéticos (ver Fig. 6), sugerindo que a forma mais eficiente de se fazer o teste parece ser mesmo por meio de sons sintéticos. Assim, houve pouca mudança em relação ao já discutido anteriormente.

4. CONCLUSÕES

A análise dos resultados constatou que, em qualquer filtragem de dados, os extremos da lista são sempre populados pelos tricíorde maior (0 4 7) e menor (0 3 7), que sempre alternam-se no topo da lista como sendo os mais suaves, e pelo tricíorde (0 1 2), que sempre figura em último lugar da lista (exceto no caso da filtragem mostrada na Fig. 9, que inclui apenas respostas de alunos de outros cursos da UEM e da comunidade externa, cuja falta de diferenciação obriga ao descarte e inutilização dos dados). Isto não surpreende, pois as tríades maiores e menores fazem parte do repertório tonal desde os primórdios da música ocidental. Já o tricíorde (0 1 2), que sempre está em última posição, é menor o repertório com este tipo de tricíorde, que é um tipo de *mini-cluster*, sendo encontrado mais em repertórios mais recentes.

A Figura 13 resume em uma tabela as diferenças de classificação entre aquela prevista pelo modelo teórico e as computadas pelas análises dos experimentos realizados por meio de sons sintéticos, por meio de sons vocais e da combinação destes.

Tricíorde	Modelo Teórico	Experimento com Sons Sintéticos	Experimento com Sons Vocais	Experimento com Sons Sintéticos e Sons Vocais
(0 4 7)	1°	1°	1°	1°
(0 3 7)	2°	2°	2°	2°
(0 2 7)	3°	3°	3°	3°
(0 3 5)	4°	5°	5°	5°
(0 2 5)	5°	4°	4°	4°
(0 4 5)	6°	13°	10°	12°
(0 1 5)	7°	7°	11°	7°
(0 5 6)	8°	15°	18°	15°
(0 1 6)	9°	12°	17°	13°
(0 4 8)	10°	11°	8°	10°
(0 3 4)	11°	17°	16°	17°

(0 1 4)	12°	14°	14°	14°
(0 3 6)	13°	9°	7°	9°
(0 4 6)	14°	10°	12°	11°
(0 2 6)	15°	8°	6°	6°
(0 2 4)	16°	6°	9°	8°
(0 2 3)	17°	18°	15°	18°
(0 1 3)	18°	16°	13°	16°
(0 1 2)	19°	19°	19°	19°

Figura 13.

Tabela com uma análise geral de todos os resultados comparados com o modelo teórico.

O direcionamento e a precisão da escuta do respondente parece depender bastante do tipo de formação que este teve. A análise dos dados mostra que existem diferenças de escuta até mesmo em pessoas do mesmo nível de formação musical. Isto sugere que provavelmente não existe uma resposta de escuta exata, porém um resultado razoavelmente semelhante e que, de maneira geral, parece se aproximar do modelo teórico proposto, se não quantitativamente ao menos qualitativamente.

Tentando resumir brevemente a aparente lógica para a classificação dos tricordes, quanto mais suaves são os intervalos formativos dos tricordes, mais suaves estes parecem para os ouvintes. Os primeiros três tricordes são formados por combinações de quintas justas e terças maiores ou menores, ou seja, os intervalos com a periodicidade mais simples de todas, portanto mais consonantes. Depois vêm tricordes contendo quartas justas com segundas maiores e/ou terças, depois tricordes em terças maiores e menores mas sem quintas justas, como é o caso dos tricordes aumentados e diminutos, e após estes tricordes, seguem aqueles que mesclam intervalos de segundas menores com outros intervalos, até chegar ao último tríplice, que é um *cluster* compactado de segundas menores. Assim, quanto mais um tríplice for formado pelos intervalos mais simples da série harmônica, como quintas e quartas justas, terças maiores e menores, mais no topo da classificação ele estará; e o contrário: quanto mais um tríplice for formado por intervalos mais complicados e ásperos, como segundas maiores, trítomos e segundas menores, mais no fim da lista ele estará.

O problema maior reside em classificar os tricordes que mesclam ecleticamente intervalos suaves com intervalos ásperos. Assim, a parte do meio das listagens classificatórias parece ser a área que concentra os maiores problemas de concordância não somente entre o

modelo teórico e os dados experimentais mas mesmo entre as diferentes respostas dos vários grupos de respondentes. Estes tricordes intermediários das classificações resultam da mistura de intervalos suaves com intervalos mais ásperos, e assim a sua apreciação pelo ouvinte (e mesmo pela teoria) depende do peso e da atenção que o ouvinte deu individualmente para cada componente, podendo a atenção do ouvinte pender mais para um lado específico, denso ou suave, conforme o foco momentâneo de sua atenção se apoia mais nestes ou naqueles intervalos do tricorde.

A maior discordância entre as respostas experimentalmente obtidas e o modelo teórico parece ser a classificação comparativa dos tricordes (0 4 8) e (0 5 6) (ver Fig. 12). A classificação experimental sempre coloca o tricorde (0 4 8) acima do (0 5 6) em suavidade, na contramão da classificação teórica. Este fato deve-se ao peso maior que o modelo teórico presentemente dá para uma alta tonicidade, que o tricorde (0 4 8) não tem porque não contém quintas justas, e para a presença de intervalos derivados da quinta justa, o que ocorre no tricorde (0 5 6). Neste sentido, a análise dos resultados obtidos sugere que um peso demasiadamente grande está sendo atribuído pelo modelo teórico a estes quesitos, e aponta para a direção na qual a teoria deverá caminhar para que se tornem mais precisas as suas predições. É aqui que observamos que esta pesquisa de PIBIC foi sim capaz de providenciar um auxílio valioso ao processo de confecção do modelo teórico de suavidade, justamente apontando as diretrizes para a sua correção e aperfeiçoamento.

É pertinente também acrescentar que apesar desta pesquisa ter especificamente focado nos tipos transposicionais tricordes, o software online criado é também capaz de realizar testes com tipos T_n de todas as cardinalidades (número de notas), abrindo a possibilidade de expandir estes experimentos também para tetracordes, pentacordes, etc., o que pretende-se posteriormente realizar.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- BARBOUR, J. M.. *Tuning and Temperament: A Historical Survey*. East Lansing: Michigan State College Press, 1951.
- BITTENCOURT, Marcus Alessi. Sketches for the foundations of a contemporary experimental treatise on Harmony. In: *Anais do II Encontro Internacional de Teoria e Análise Musical*. São Paulo: UNESP-USP-UNICAMP, 2011.
- BITTENCOURT, Marcus Alessi. *Tratado de Harmonia, demonstrado à maneira dos geômetras, Livro Um*. Trabalho representativo da consolidação da linha de pesquisa apresentado e defendido como requisito para a promoção à classe de Professor Associado do Magistério Público da Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil, 2014.
- BITTENCOURT, Marcus Alessi. Rethinking Modal Gender in the Context of the Universe of Tn-Types: Definitions and Mathematical Models for Tonicity and Phonicity. *Revista OPUS*, Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música (ANPPOM), Brasil, v. 22, n. 2 (Dezembro de 2016), p. 399-428, 2016.
- BRADLEY, Ralph Allan; TERRY, Milton E.. Rank analysis of incomplete block designs. I. The method of paired comparisons. *Biometrika*, United Kingdom, vol. 39, no. 3/4, December, p. 324-345, 1952.
- BROOKS, David R.. *An Introduction to HTML and JavaScript for Scientists and Engineers*. London: Springer-Verlag, 2007.
- COSTÈRE, Edmond. *Lois et styles des harmonies musicales*. Paris: Presses Universitaires de France, 1954.
- DOYLE, Matt. *Beginning PHP 5.3*. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc., 2010.
- FORTE, Allen. *The Structure of Atonal Music*. New Haven: Yale University Press, 1973.
- GESCHIEDER, G. A.. *Psychophysics: method, theory and application* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1985.
- HELMHOLTZ, Hermann L. F.. *On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music* (trad. Ellis, A. J., 3rd ed.). London: Longmans, Green and co., 1895.
- HOUTSMA, A.J.M. & GOLDSTEIN, J.L.. Perception of musical intervals: Evidence for the central origin of the pitch of complex tones. In: *The Journal of the Acoustical Society of America*, volume 51, no. 2, part 2, p. 520-529, 1972.
- OETTINGEN, Arthur von.. *Harmoniesystem in Dualer Entwicklung*. Leipzig: W. Glaser, 1866.
- PARNCUTT, R.. *Harmony: A Psychoacoustical Approach*. Springer-Verlag, 1989.
- PLOMP, R.. The Ear as a Frequency Analyzer. *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 36, no. 9, p. 1628-1636, 1964.
- PLOMP, R.. Pitch of complex tones. *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 41, no. 6, p. 1526-1533, 1967.

PLOMP, R. and LEVELT, W. J. M.. Tonal Consonance and Critical Bandwidth. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 38, pp. 548–560, 1965.

RAHN, J.. *Basic Atonal Theory*. New York: Schirmer Books, 1980.

SCHOUTEN, J. F., RITSMA, R. J. & CARDOZO, B. LOPES. Pitch of the Residue. *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 34, no. 8, part 2, p. 1418-1424, 1962.

SETHARES, W. A.. *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale*. London: Springer-Verlag, 1998.

SHEPARD, Roger N.. Circularity in Judgements of Relative Pitch. *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 36, no. 12, p. 2346-2353, 1964.

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE EXPERIMENTOS AUDITIVOS PSICOACÚSTICOS PARA AFERIR A PERTINÊNCIA E A VALIDADE DE MODELOS MATEMÁTICOS DE PROPRIEDADES HARMÔNICAS PARADIGMÁTICAS CRIADOS PELO PROJETO DE PESQUISA DOCENTE 6182/2014

Marion Cleiton de Almeida (PIBIC/CNPq/UEM) e-mail: marion.mxt@hotmail.com, Marcus Alessi Bittencourt (Orientador), e-mail: mabittencourt@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Ciências Humanas,
Linguística, Letras e Artes/Maringá, PR.

Palavras-chave: Psicoacústica, Teoria da Música, Harmonia Musical.

Resumo:

Esta pesquisa de Iniciação Científica desenvolveu um aplicativo online em PHP, Javascript e HTML5 de aplicação de um teste auditivo psicoacústico para aferir a validade de um dos modelos matemáticos criados pelo projeto de pesquisa docente “Formalização e abstração de propriedades psicoacústicas paradigmáticas dos aglomerados de sons de altura definida como embasamento teórico para uma nova disciplina de Harmonia” (processo 6182/2014), referente à classificação dos tipos T_n tricordes quanto à sua suavidade. Após o desenvolvimento do aplicativo, que propõe aos respondentes diversas votações entre dois tricordes por vez, houve a sua aplicação efetiva a diversos respondentes, o que resultou na coleta de 9.866 respostas que foram posteriormente processadas pelo método probabilístico de Bradley-Terry para gerar uma classificação de preferência por suavidade dos 19 tipos T_n tricordes. Comparada à classificação dos mesmos realizada por meios puramente teóricos desenvolvidos pela pesquisa docente 6182/2014, esta classificação obtida experimentalmente serve como um possível elemento validador e como elemento norteador para correções e calibrações mais precisas em suas modelagens matemáticas.

Introdução

O projeto de pesquisa docente 6182/2014 visa a formalização e a abstração de propriedades psicoacústicas paradigmáticas dos aglomerados de sons de altura definida, com a finalidade de providenciar um embasamento teórico para uma nova disciplina de Harmonia. Dentre os elementos desenvolvidos por este corpo teórico estão diversas modelagens matemáticas de aspectos da compreensão musical da escuta humana. A premissa inicialmente utilizada como elemento de validação destes modelos teóricos é a de que se eles forem capazes de corroborar e validar conceitos, ideias e pontos de

vista comumente mantidos por importantes teóricos musicais da história, então é provável que o modelo estrutural seja válido não apenas como ferramental para a avaliação e estudo das técnicas musicais do passado, mas também igualmente válido para revelar detalhes e informações interessantes sobre aqueles outros materiais musicais não tradicionalmente utilizados e passíveis de experimentação pela contemporaneidade. No entanto, é também interessante testar experimentalmente as teses e conceitos desenvolvidos, avaliando se ouvintes humanos, quer leigos, aprendizes ou profissionais, são capazes de perceber aquilo que a teoria harmônica criada postula e prevê como sendo audível e importante musicalmente. Para isto, esta pesquisa de Iniciação Científica buscou o desenvolvimento e a realização de um experimento psicoacústico para aferir a validade do modelo teórico de suavidade para tipos transposicionais de três notas (tricordes) desenvolvido pela pesquisa docente em questão. Na teoria dos conjuntos aplicada à música (Set-Theory), um tipo transposicional, ou Tipo T_n , é uma classe de equivalência que representa a configuração única de classes intervalares compartilhada por todas as transposições de um conjunto de classes de altura diferentes (RAHN, 1980: 74-77). No universo do temperamento igual de doze notas por oitava há exatamente 351 destas configurações intervalares únicas, das quais 19 apenas são tricordes (COSTÈRE, 1954: 62). O objetivo deste estudo foi o de obter, por meio de um experimento psicoacústico online, uma classificação entre os 19 tipos T_n tricordes, visando a comparação desta classificação com a proposta pelo corpo teórico desenvolvido pela pesquisa docente em questão.

Materiais e métodos

Para este estudo pensou-se realizar a experiência psicoacústica em questão por meio de uma página online na internet, cujo código foi criado especialmente para esta pesquisa por meio das linguagens computacionais PHP, Javascript e HTML5. A página online do experimento contém um pequeno formulário no qual o ouvinte se identifica por meio de um pseudônimo e informa o nível de sua formação musical, dentre 5 categorias (leigo, aluno de música com menos de 5 anos de estudo, aluno de música com entre 5 a 10 anos de estudo, aluno de música com mais de 10 anos de estudo e músico profissional). Isto foi considerado importante na pesquisa para tornar possível uma filtragem dos resultados coletados tanto individualmente por respondentes como por níveis de conhecimento musical. Aos respondentes do experimento são tocadas duas sonoridades tricordais provenientes de tipos T_n diferentes, sobre as quais é feita a seguinte pergunta: “qual é a sonoridade mais suave (ou menos densa ou menos complicada) aos seus ouvidos?”. Nos experimentos, foram utilizados tanto sons sintéticos quanto sons pré-gravados de vozes humanas. Após a audição das duas sonoridades, o respondente tem a opção de escolher entre uma delas apenas ou ainda indicar um empate entre elas. Após enviada a resposta, o sistema inclui o resultado em seu banco de dados e apresenta ao respondente um novo teste de comparação entre dois tricordes

diferentes, reiniciando o processo nos mesmos moldes. A cada respondente foi solicitado que respondesse a pelo menos 171 testes, que é o número de comparações diferentes entre dois elementos que se pode formar com uma população de 19 elementos distintos. No sistema online, existe um algoritmo de monitoramento dos testes já realizados que impede que uma comparação entre os mesmos tricordes seja novamente apresentada aos respondentes antes que as outras 170 tenham sido realizadas, isto para sempre garantir a aquisição de coleções completas de comparações. A partir do conjunto de todas as respostas das votações coletadas, foi utilizado o método de Bradley & Terry para compilar uma classificação de preferência dos 19 tricordes. O Modelo de Bradley-Terry (BRADLEY & TERRY, 1952) é um modelo probabilístico bastante utilizado atualmente e que permite determinar ou prever uma ordem classificatória de preferência entre os elementos de uma determinada população por meio da análise dos resultados de comparações individuais realizadas entre dois elementos por vez. Após a aplicação do experimento psicoacústico, a classificação resultante de suavidade dos 19 tipos Tn tricordes foi comparada à classificação dos mesmos fornecida pelos métodos puramente teóricos desenvolvidos pelo projeto de pesquisa docente 6182/2014.

Resultados e Discussão

No banco de dados de respostas do sistema online foram colhidas 9.866 respostas de testes, provenientes de algumas dezenas de respondentes de vários níveis de experiência. Após processamento integral deste banco de respostas pelo método Bradley-Terry, foi gerada uma classificação de preferência de suavidade dos 19 tipos Tn tricordes, tendo sido atribuída a cada um deles uma pontuação normalizada entre 0 e 1. A figura 1 a seguir mostra um histograma com os resultados computados a partir de todos os dados obtidos, sem nenhuma filtragem, comparados à pontuação calculada por meios puramente teóricos (que são os retângulos mais escuros):

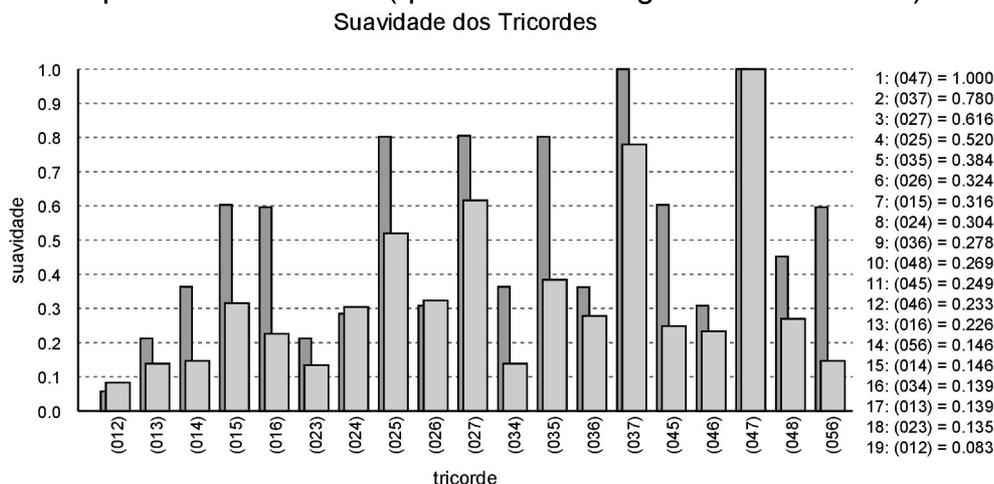


Figura 1.

Classificação experimentalmente obtida dos 19 tipos Tn tricordes quanto à sua suavidade, comparada à classificação teoricamente obtida (retângulos mais escuros).

Estes resultados encontram-se atualmente em processo de comparação com a classificação gerada pelo modelo puramente teórico da pesquisa docente, aferindo-se os pontos de concordância e divergência, em especial testando diferentes filtragens dos dados experimentalmente obtidos segundo quesitos como o nível de experiência do respondente. Os casos nos quais há concordância podem indicar que o modelo teórico está modelando corretamente a audição dos respondentes. Os casos discordantes podem indicar que existem aspectos no modelo teórico que devam ainda ser aperfeiçoados e apontar diretrizes específicas para a correção. No geral, a comparação entre as classificações experimental e teórica apresentam muitas similaridades, mas divergem marcadamente em vários pontos específicos.

Conclusões

O sistema online de testes foi preparado para realizar testes entre todos os 351 tipos Tn e não apenas os 19 tricordes. Neste sentido, realizar o experimento apenas com tricordes serviu para testar a operacionalidade do sistema em um âmbito mais restrito de possibilidades. No entanto, o experimento pode futuramente continuar testando tipos Tn de outras cardinalidades, como díades, tetracordes e pentacordes, por exemplo. A pesquisa possibilitou também a aquisição de um maior conhecimento das linguagens PHP, Javascript e HTML5, úteis tanto para o aperfeiçoamento deste experimento como na criação de novos, além de ter possibilitado a criação de um aplicativo que foi bem sucedido na aquisição de dados experimentais psicoacústicos bastante relevantes para a pesquisa docente original.

Agradecimentos

Agradecimentos primeiramente a Deus, e ao meu orientador, Prof. Dr. Marcus Alessi Bittencourt, pelo grande aprendizado em cada orientação. Em especial aos órgãos responsáveis pelo financiamento da pesquisa realizada através do PIBIC/CPNq – Fundação Araucária, PPG/UEM. E a todos que participaram das votações que proporcionaram estes resultados.

Referências

BRADLEY, Ralph Allan; TERRY, Milton E.. Rank analysis of incomplete block designs. I. The method of paired comparisons. **Biometrika**, United Kingdom, vol. 39, no. 3/4, December, p. 324-345, 1952.

COSTÈRE, Edmond. **Lois et styles des harmonies musicales**. Paris: Presses Universitaires de France, 1954.

RAHN, John. **Basic Atonal Theory**. New York: Schirmer Books, 1980.