UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE PSICOLOGIA

MARCELO MUNIZ

Estudo de aspectos da expectativa melódica com uso de
medida de tempo de reação

(corrigido)

São Paulo
2017

MARCELO MUNIZ

Estudo de aspectos da expectativa melódica com uso de tempo de reação

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências – Área de concentração: Neurociências e Comportamento.

Orientador: Profa. Dra. Maria Inês Nogueira

São Paulo
2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

Marcelo Muniz

Título: Estudo de aspectos da expectativa melódica com uso de tempo de reação

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Ciências .

Área de concentração: Neurociências e Comportamento.

Aprovada em:

Banca examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____ Assinatura _____

DEDICATÓRIA

Aos meus pais:
Eno Carlos Muniz e
Aurea Gaglioti Muniz

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a minha orientadora, Profa. Maria Inês Nogueira pelas orientações e apoio durante todo o percurso desse trabalho.

Ao Prof. Hamilton Haddad Jr., pelo apoio instrumental e pelas valorosas sugestões durante o decorrer do trabalho e no Exame geral de qualificação.

Ao Prof. Fernando Iazzetta, pelo apoio de sempre e pelas valorosas sugestões oferecidas antes durante e depois do Exame geral de qualificação.

À Luana Righi pela ajuda inestimável para a implementação do experimento 1.

Às Profas. Renata Mamede Carvalho e Eliane Schochat pelo carinho e presteza dispensados durante todo meu percurso acadêmico e, em especial, ao aprendizado durante o programa de estágio PAE.

À Dra. Seisse Gabriela, pelo carinho e atenção dispensada a cada um dos meus voluntários e, sobretudo, à generosidade sempre presente à cada solicitação.

À Rosana Prisco, incansável, pela ajuda inestimável que em muito ultrapassou as barreiras do tratamento estatístico do presente trabalho e cujo exemplo de solicitude, carinho e dedicação levarei comigo como ensinamento fundamental desse período.

À CAPES pela concessão da bolsa, sem a qual não seria possível a existência desse trabalho.

Por fim, meu muito obrigado a todos os voluntários que participaram das etapas experimentais do presente trabalho, a todos os amigos que me apoiaram durante esse percurso e, sobretudo, à minha companheira Giselle de Figueiredo, fundamental na reta final desse trabalho.

RESUMO

MUNIZ, M. (2017) Estudo de aspectos da expectativa melódica com uso de tempo de reação. Tese de Doutorado. Instituto de Psicologia. Universidade de São Paulo.

Os fundamentos dos modelos atualmente empregados para estudo de diferentes aspectos da expectativa musical encontram-se, em grande parte, arraigados a hipóteses que ganharam força nos anos 1950, como a hipótese formulada por Meyer (1956). Por outro lado, o seminal trabalho de Krumhansl e Shepard (1979), que estabelece a teoria de estabilidade de hierarquia tonal, tornou-se referência essencial em trabalhos que lidam com expectativa harmônica ou melódica. Nos anos 1980, começaram a surgir estudos utilizando tempo de reação como ferramenta para investigação da expectativa melódica. Embora os estudos sugiram a validade do método, apresentam resultados inconclusivos. O presente trabalho, além de investigar um componente central da hipótese de Meyer (1956), para o qual significado e emoção emergem da violação de expectativas, investigou aspectos da expectativa melódica, tomando o modelo de Krumhansl e Shepard (1979) e adaptando-o ao método de medida de tomada de tempo de reação. Outrossim, propôs um método de equalização individual de volume subjetivo com intuito de contribuir para o refinamento da técnica de tomada de tempo de reação voltado a experimentos que utilizam estímulos sonoros. Foram propostos três experimentos. O primeiro replicou o experimento de Krumhansl e Shepard (1979), acrescentando a medida de resistência da pele e tomada de tempo de reação. No segundo, foram modificados alguns parâmetros do experimento original de Krumhansl e Shepard (1979) com intuito de adequá-lo de forma mais efetiva à medidas de tempo de reação. No terceiro substituiu-se a escala maior empregada como *prime*, por uma única frequência de referência, visando testar o papel da escala originalmente empregada nos padrões de resposta de tempo de reação. Foram utilizados voluntários com níveis variados de expertise musical. Conjuntamente, os experimentos mostraram que o expertise musical tem forte influência nas respostas à avaliação dos estímulos, correlacionando-se negativamente aos tempos de reação.

Palavras Chave: Expectativa. Tempo de reação. Percepção musical. Cognição musical.

Lista de Figuras

- Figura 1: Dois tipos de esquemas de expectativas: harmônico e melódico. Ambos consistem de conjuntos de vetores cognitivos em um sistema de coordenadas de duas dimensões. Modificado de Jones (1981).....27
- Figura 2: Anatomia da glândula écrina sudorípara em várias camadas de pele (Dawson et al., 2007).....37
- Figura 3: Sinal de condutância da pele mostrando componentes de SCR que podem ser utilizados para qualificação quantitativa (Figner & Murphy, 2011).....39
- Figura 4: Curva idealizada de velocidade vs. acurácia. O círculo vazio representa o ponto considerado como ideal de acordo com a definição de tempo de reação. Modificado de Pachella (1973).....45
- Figura 5: Utilização do galvanômetro para medição de pequenos intervalos de tempo sugerida por Claude Pouillet em 1844. A deflexão da agulha de um galvanômetro servia para inferência do tempo durante o qual havia passagem de corrente elétrica. No desenho (A) o disparo do rifle fecha o circuito provocando fluxo de corrente elétrica. O fluxo é interrompido pela secção do fio pela saída do projétil na ponta do rifle. Com o surgimento da tecnologia do telégrafo ao final dos anos 1830, o eletromagnetismo passou a ter papel importante nesse tipo de medida de precisão. Helmholtz, ao final dos anos 1840, adotou a técnica de Pouillet para a medição da velocidade de propagação de estímulos elétricos em nervos de rã. A reconstrução do aparato é mostrada em (B). A montagem combina dois circuitos elétricos: um no qual a corrente da bateria R passando através dos indutores I1 e I2 pode estimular o músculo M/N. O outro circuito é formado pela conexão entre a bateria Z e o galvanômetro T. A chave S/P liga ambos os circuitos, simultaneamente. Com a chave ligada, a corrente elétrica flui pelo nervo, contraindo-o. A contração age sobre os componentes do quadro A, desligando o circuito. Posicionando os eletrodo em diferentes porções do nervo, Helmholtz pôde deduzir a velocidade de propagação do estímulo (Schmidgen, 2002 p.143).....59
- Figura 6: Exemplo de geração de onda senoidal em Pd. No exemplo, o objeto [osc~] gera uma onda senoidal com frequência estabelecida pelo parâmetro da caixa conectada à sua entrada esquerda. O objeto [*~] controla a intensidade por meio do parâmetro inserido na caixa ligada à sua entrada direita. O objeto [dac~] converte os parâmetros digitais em sinal analógico e os envia para saída.....63
- Figura 7: Arduino modelo nano V3.0 utilizado na montagem experimental. Dois resistores de “pull-down” são utilizados para evitar flutuações de tensão e consequentes "falsos acionamentos".....65
- Figura 8: Modificação do apontador mouse para utilização com arduino. Os fios foram retirados da sua posição original (foto da esquerda) e ressoldados de forma a eliminar o circuito eletrônico original (foto da direita). Somente os interruptores foram utilizados para ligação com o arduino.....67
- Figura 9: Curvas de volume igual para sons puros em campo sonoro aberto. O limiar auditivo para campo aberto é mostrado pela linha tracejada. A curva de 10 fons é mostrada em linha pontilhada em função da perda de dados experimentais entre 20 fons e

o limiar auditivo. A curva de 100 fons é também mostrada em linha pontilhada porque só haviam dados de um único instituto para construção da curva.....72

Figura 10: Curva de volume igual para 80 fons, de acordo com norma ISO 226:2003, compreendendo as frequências 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000 e 1250Hz.....74

Figura 11: Tela inicial do patch para etapa de equalização individual de volumes. Cada seção do seletor incrementa ou decrementa o som a ser ajustado em 1 dB NPS. A cada seleção a frequência de referência é repetida (à 80 dB NPS), seguida da frequência a ser ajustada. A barra abaixo do seletor contém instruções de acordo com a etapa do processo corrente. A tecla "OK", registra o ajuste realizado e apresenta, automaticamente, um novo som à ser ajustado. A seta à direita da barra de instruções inicia a apresentação seguinte.76

Figura 12: Curva média de volume igual determinada para o sistema utilizado nos experimentos 2 e 3. 16 participantes analisaram 10 diferentes frequências compreendendo a faixa de frequências utilizada nos experimentos. Os pontos intermediários foram determinados por função spline cúbica.....77

Figura 13: Representação dos estímulos (A) ascendente, (B) descendente e (C) "probe-tones" em notação musical tradicional. As notas foram apresentadas como sons senoidais com duração de 750ms. Da esquerda para direita lê-se (A) Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá, Si, Dó; (B) Dó, Si, Lá, Sol, Fá, Mi, Ré, Dó; (C) Dó, Dó#, Ré, Ré#, Mi, Fá, Fá#, Sol, Sol#, Lá, Lá#, Si, Dó.....86

Figura 14: Formação de agrupamentos baseada na matriz de correlação segundo padrão de avaliação dos 16 participantes do experimento. Cada sujeito é representado por uma das linhas ao longo da ordenada. A abscissa representa o grau de correlação entre indivíduos e grupos. A linha vermelha representa o ponto estabelecido para formação dos agrupamentos, com $r=0,388$ e $p<0,05$. O Grupo 1 foi formado majoritariamente por músicos, sendo 3 sujeitos com formação musical em nível superior, um sujeito com nível superior incompleto em música, um sujeito que declarou tocar violão há 12 anos e somente um sujeito que declarou não ter qualquer conhecimento musical. Somente um sujeito no Grupo 2 tem formação em música em nível superior. Todos os outros declararam não ter conhecimento formal em música. Três participantes não foram agrupados ao nível de correlação estabelecido, ficando, portanto, fora da análise final.. .89

Figura 15: Média e desvio padrão das avaliações nos contextos ascendente e descendente do grupo1. A abscissa contém os 13 probe tones apresentados. A ordenada contém a magnitude de avaliação com notas entre 1 e 7. O Grupo 1 foi formado prioritariamente por músicos, sendo 3 sujeitos com formação musical em nível superior, um sujeito com nível superior incompleto em música, um sujeito que declarou tocar violão há 12 anos e somente um sujeito que declarou não ter conhecimento musical.....90

Figura 16: Média das avaliações e desvio padrão dos contextos ascendente e descendente do grupo 2. A abscissa contém os 13 probe tones apresentados. A ordenada contém a magnitude de avaliação com notas entre 1 e 7. No Grupo 2, somente um participante tem graduação em música. Todos os outros declararam não ter qualquer conhecimento musical e não tocar instrumentos musicais.....91

Figura 17: Média das avaliações e desvio padrão do grupo 1 organizadas em sentido decrescente no contexto ascendente. As notas Dó são as mais bem avaliadas em ambas

as oitavas. Exceto pelo Do#, as notas pertencentes à escala (naturais) receberam melhores avaliações com relação às notas não pertencentes à escala (sustenidos).....92

Figura 18: Média das avaliações do grupo 1 organizadas em sentido decrescente no contexto descendente. As notas Dó são as mais bem avaliadas em ambas as oitavas. Exceto pelo Lá#, as notas pertencentes à escala (naturais) receberam melhores avaliações com relação às notas não pertencentes à escala (sustenidos).....93

Figura 19: Média e desvio padrão das avaliações do grupo 2 organizadas em sentido decrescente no contexto ascendente. A nota Dó pertencente à oitava que complementa a escala é a nota com maior avaliação entre todas as outras. Com exceção da inversão entre as notas Sol e Fá#, a magnitude das avaliações decresceu com o aumento da distância intervalar em relação à tônica.....94

Figura 20: Média e desvio padrão das avaliações do grupo 2 organizadas em sentido decrescente no contexto descendente. A nota Dó pertencente à oitava que complementa a escala é a nota com maior avaliação entre todas as outras.....95

Figura 21: Correlação entre contextos ascendente e descendente de avaliação dos Grupo 1(esq.) e Grupo 2 (dir.).....95

Figura 22: Média dos tempos de reação e desvio padrão registrados em resposta às avaliações nos contextos ascendente e descende do grupo 1. A abcissa contém os 13 probe tones apresentados. A ordenada contém o tempo de reação em ms.....97

Figura 23: Média e desvio padrão dos tempos de reação registrados em resposta às avaliações nos contextos ascendente e descende do grupo 2. A abcissa contém os 13 probe tones apresentados. A ordenada contém o tempo de reação em ms.....98

Figura 24: Correlação entre os contextos ascendente e descendente dos tempos de reação do Grupo1 (esq.) e Grupo 2 (dir.).....98

Figura 25: Correlação entre avaliação e tempo de reação para Grupo1 (esq.) e Grupo 2 (dir.).....104

Figura 26: Formação de agrupamentos baseada na matriz de correlação segundo padrão de avaliação dos 15 participantes do experimento. Cada sujeito é representado por uma das linhas ao longo da ordenada. A abcissa representa o grau de associação entre indivíduos e grupos. A linha vermelha representa a ponto estabelecido para separação dos agrupamentos, com $r=0,388$107

Figura 27: Aparato experimental utilizado para os experimentos 2 e 3.....108

Figura 28: Detalhe da conexão entre interruptores, arduino e usb. O hardware do mouse foi alterado para que seus interruptores de pressão fossem diretamente ligados às entradas do arduino, sem interferência do circuito original.....109

Figura 29: Média e desvio padrão das avaliações nos contextos ascendente e descende de cada um dos cinco grupos. As abcissas contém os 13 probe tones apresentados. As ordenadas contém a média das seis avaliações de cada grupo para cada um dos probe tones.....113

Figura 30: Correlação entre os contextos ascendente e descendente de avaliação para cada um dos cinco grupos.....	116
Figura 31: Média dos tempo de reação dos contextos ascendente e descendente para cada um dos grupos. As abscissas contém os 13 probe tones apresentados. As ordenadas contém o tempo de reação em ms.....	118
Figura 32: Correlação entre contexto ascendente e descendente dos tempos de reação para cada um dos cinco grupos.....	119
Figura 33: Correlação entre tempo de reação e avaliação para cada um dos cinco grupos	121
Figura 34: Média dos tempo de reação dos contextos ascendente e descendente para cada um dos grupos. As abscissas contém os 12 probe tones apresentados. As ordenadas contém o tempo de reação em ms.....	126
Figura 35: Proporção de erros nos contextos ascendente e descendente para cada um dos grupos. As abscissas contém os 12 probe tones apresentados. As ordenadas contém o tempo de reação em ms.....	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Mecanismos de indução de emoção em música e as principais regiões nervosas envolvidas (Juslin & Västfjäll, 2008).....	35
Tabela 2: Autor, tipo de experimento e estímulo de experimentos em expectativa musical realizados com utilização de tomada de tempo de reação.....	52
Tabela 3: Autor, expertise e equipamento utilizado em experimentos em expectativa musical realizados com utilização de tomada de tempo de reação.....	53
Tabela 4: Frequências e respectivos níveis de intensidade utilizados, inicialmente, na etapa de equalização individual de sensação de volumes.....	74
Tabela 5: Idade, sexo e expertise dos participantes do grupo1. Grupo 1 (N=6), formado por três participantes do sexo masculino e três participantes do sexo feminino. Média etária ;s=6,7 anos.....	84
Tabela 6: Idade, sexo e expertise dos participantes do grupo 2. Grupo 2 (N=7), formado por cinco participantes do sexo masculino e dois participantes do sexo feminino. Média etária ; s=10,9 anos.....	84
Tabela 7: Participantes segundo divisão por formação de agrupamentos baseada na matriz de correlações à partir do padrão de respostas à avaliação. *A classificação "músico/ não-músico", bem como o item "conhecimento musical formal" foram declarados espontaneamente pelos próprios voluntários em questionário que antecedeu experimento.	106

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1. Considerações iniciais.....	21
1.2. Expectativa em música.....	24
1.3. Breve panorama sobre a hipótese de Meyer.....	31
1.4. Música e Emoção – substrato neural.....	33
1.5. Respostas Galvânicas da Pele.....	35
1.6. Cronometria Mental.....	40
1.7. Expectativa em música x tempo de reação.....	46
1.8. Considerações gerais acerca do estudo.....	54
2. OBJETIVOS.....	57
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	58
3.1. Desenho experimental.....	58
3.2. Aspectos técnicos.....	62
3.2.1. Software.....	62
3.2.2. Interface.....	64
3.3. Amostra.....	67
3.3.1. Audição e lateralidade.....	69
3.4. Aspectos psicofísicos.....	70
3.4.1. Características físico-acústicas dos estímulos.....	70
3.4.2. Determinação das curvas individuais de igual volume.....	73
3.4.3. Características temporais dos estímulos e apresentação.....	77
3.5. Tratamento dos dados.....	79
4. Experimento 1.....	82
4.1. Participantes.....	83
4.2. Material.....	85
4.3. Estímulos.....	85
4.4. Procedimento.....	87
4.5. Resultados.....	88
4.5.1. Perfil dos participantes:.....	88
4.5.2. Avaliação:.....	90
4.5.3. Tempos de Reação.....	96
4.5.4. Respostas Galvânicas.....	99

4.6. Discussão Parcial.....	99
4.6.1. Avaliação.....	99
4.6.2. Tempo de reação.....	101
4.6.3. Respostas galvânicas.....	102
4.6.4. Avaliação vs. Tempo de reação.....	102
5. EXPERIMENTO 2.....	105
5.1. Participantes.....	105
5.2. Aparato.....	108
5.3. Estímulos.....	109
5.4. Procedimento.....	110
5.5. Resultados.....	111
5.5.1. Perfil dos participantes.....	111
5.5.2. Avaliação:.....	112
5.5.3. Tempo de reação.....	117
5.5.4. Correlações entre Avaliação e Tempo de reação.....	120
5.6. Discussão Parcial.....	122
6. EXPERIMENTO 3.....	123
6.1. Participantes.....	123
6.2. Aparato.....	124
6.3. Estímulos.....	124
6.4. Procedimento.....	125
6.5. Resultados.....	125
6.5.1. Tempos de reação.....	125
6.5.2. Proporção de Erros.....	127
6.6. Discussão Parcial.....	129
7. DISCUSSÃO GERAL.....	130
8. CONCLUSÃO.....	133
Anexo A.....	134
Termo de consentimento livre e esclarecido.....	134
Anexo B Questionário de Avaliação Geral.....	135
Anexo C.....	136
APÊNDICE A – Documentação de software “Equalização de volumes”.....	138
APÊNDICE B - Experimento HT1.....	142

1. INTRODUÇÃO

A música¹ é um processo dinâmico que ocorre em função do tempo. A apreensão das regularidades de um determinado sistema musical ocorre, parcialmente, de forma implícita, pela exposição ao material musical, o que possibilita (ou mesmo, induz) a formação de expectativas no decorrer da escuta (Halpern, Zioga, Shanklemanb, Lindsen & Pearce, 2017; Tillmann, Bharucha, & Bigand, 2000). As expectativas musicais constituem mecanismos nucleares na percepção e cognição musicais (Rohrmeier & Koelsch, 2012; Schellenberg, Peretz, & Vieillard, 2008; B. Tillmann, Poulin-Charronnat, & Bigand, 2014), sendo a expectativa em seu caráter harmônico e melódico, possivelmente, um dos temas mais amplamente estudados em cognição musical (Collins, Tillmann, Barrett, Delbé, & Janata, 2014).

As relações entre música e psicologia, especialmente no tocante à formação de expectativas têm como um dos marcos importantes a publicação do livro *“Emotions and meaning in music”* de Leonard Meyer² em 1956.

Meyer (1956) situa a expectativa musical no terreno probabilístico. Segundo sua hipótese, emoção e significado em música emergem como produtos da expectativa formada por aprendizado, este, estabelecido pelo estilo. O contato com o repertório seria responsável pela pavimentação de um conjunto de relações prováveis, incorporando regras e padrões que balizariam o ouvinte no ato da escuta promovendo a formação de expectativas.

Pouco mais de duas décadas depois, Krumhansl e Shepard (1979), publicaram um estudo que além de fundamentar a hipótese da estabilidade de hierarquia tonal na formação de expectativas, introduziu a utilização do *“probe tone”* como modelo experimental em investigações dessa natureza. Tal qual em Meyer

1 O termo “música” refere-se aqui a um recorte da música de tradição ocidental. A utilização do termo é discutida mais amiúde nas “considerações iniciais”.

2 A obra aborda, especificamente, a música de tradição ocidental. Segundo a ótica de Meyer (1956) a música se estabelece por um conjunto de símbolos discretos (notas musicais), organizados por relações bem definidas, passível, assim, de ser tratada como processo estocástico.

(1956) tem-se, nesse modelo, a formação de expectativas pautada no aprendizado, pelo contato com o repertório, ligada assim à memória de longo prazo.

A partir do final dos anos 1980, alguns estudos passaram a utilizar o método de tomada de tempo de reação como ferramenta para tipo de investigação (por exemplo: Aarden, 2003; Bharucha & Stoeckig, 1986; Frankland & Cohen, 1990; Janata & Reisberg, 1988; Ranvaud, Thompson, Silveira-Moriyama, & Balkwill, 2001)

Aarden, (2003), utilizando tempo de reação, conduziu experimentos que replicaram parcialmente os resultados obtidos por Krumhansl e Shepard (1979), apontando, assim como outros estudos, para validação da técnica enquanto ferramenta para investigação da expectativa em contexto tonal. O método apresenta vantagens significativas com relação ao originalmente utilizado no estudo de Krumhansl e Shepard (1979), já que não depende de respostas diretas os participantes. Entretanto, os resultados apresentados nos estudos envolvendo tempo de reação, de forma geral, mostraram correlação moderada em relação ao método de respostas espontâneas. A análise de diversos estudos que utilizam a técnica mostrou grande heterogeneidade com relação aos protocolos experimentais utilizados, dificultando a comparação e inferência de parâmetros relevantes para composição do conhecimento acerca da expectativa musical. Observou-se, sobretudo, problemas com a padronização de estímulos. Nenhum dos estudos analisados levou em consideração a influência da intensidade sonora e sensação subjetiva de volume no tempo de reação das respostas. A influência do parâmetro, no entanto, apresenta farta literatura de apoio em estudos na área de psicoacústica, assim como é também amplamente conhecida a dependência entre frequência e sensação de volume (Fletcher & Munson, 1933). De acordo com a norma ISO 226:2003, a variação de pressão sonora para frequências utilizadas neste, e em grande parte dos estudos em questão (compreendendo três oitavas musicais, com frequências em torno de 100 e 1000Hz), é superior a 10 dB NPS. Entende-se, assim, que o parâmetro não possa ser desconsiderado em estudos que utilizam estímulos sonoros para a tomada de tempos de reação e que, em consequência, seu negligenciamento possa ser a causa de desvios nas tomadas de dados desses

estudos, levando a resultados distorcidos dos parâmetros em investigação. O presente estudo visa investigar aspectos da expectativa musical em contexto tonal, bem como contribuir para o aprimoramento do método de tomada de tempo de reação com utilização de estímulos sonoros.

1.1. Considerações iniciais

O trânsito entre áreas distintas de conhecimento é, em si, o desafio precípua inerente a qualquer estudo interdisciplinar. Visto que um estudo nesse contexto pretende operar em duas ou mais áreas, deve-se levar em conta que o recorte do objeto de estudo encontra-se imbricado às especificidades de linguagem e ontologia do objeto em seus campos específicos de conhecimento.

Embora algumas das considerações aqui apontadas possam parecer, a princípio, óbvias, partem da observação de elementos recorrentes na literatura envolvendo música e neurociências, objetos do presente estudo.

Não se pretende delinear uma taxonomia das áreas abordadas, tampouco realizar uma análise definitiva das questões, mas sim, levantar alguns poucos tópicos que se entende serem relevantes para a discussão além de delinear parâmetros que serão utilizados no presente estudo.

A primeira questão diz respeito à utilização do verbete “música”.

Embora “música” seja um termo utilizado sem restrições no vocabulário cotidiano, há que se observar que, enquanto área de conhecimento, abrange dimensões múltiplas tais como técnicas, históricas e estéticas, que tornam o verbete, quando da utilização genérica, obscuro, esvaziando-o de significado.

De um modo geral, grande parte dos trabalhos na área de cognição ou psicologia que tratam da música em seu escopo, empregam o termo genericamente,

referindo-se, entretanto, a um espectro bastante estreito do contexto musical localizado no sistema tonal, parte específica do repertório de tradição ocidental.

Por um lado, seguindo o curso da história, há o período que antecede o tonalismo e todo um universo externo ao ocidente e à música formal e que recebe pouca ou nenhuma atenção na história da música contada no ocidente. Por outro lado, há no século XX o florescer de uma miríade de iniciativas e vertentes no âmbito musical que flexibilizaram o material musical, as diretrizes composicionais e as relações com os ouvintes. O restrito conjunto de notas musicais passa no século XX a figurar como uma entre múltiplas possibilidades de construção musical. O próprio som, elemento essencial e indiscutível, veículo da “mensagem musical” no repertório de tradição ocidental, passa, em determinadas propostas contemporâneas a figurar como coadjuvante. A utilização do termo “música”, dessa forma, implicaria abarcar toda a amplitude inerente ao termo, o que na maioria dos casos seria, ao menos, inadequado.

Atrelada a essa questão está a utilização do termo “músico” para indicação de indivíduos especializados. Observa-se na grande maioria dos trabalhos que pretendem utilizar sujeitos experimentais especializados, a adoção de critérios de inclusão baseados em aspectos subjetivos tais como: “indivíduos que sabem ler partitura”, ou, “indivíduos que tocam pelo menos um instrumento há ‘x’ anos”.³

Uma vez compreendida as transformações profundas estabelecidas na dilatação do conceito musical ocorridas a partir do século XIX, é razoável supor que a ideia de “músico”, como especialista em aspectos do labor musical, também não deva ser aplicada irrestritamente.⁴ Outrossim, ainda dentro do conjunto dos praticantes das técnicas e preceitos da música de tradição ocidental, a determinação de graus e amplitude de conhecimento musical que torne possível a caracterização

3 É verdade que, em determinados casos, uma habilidade específica dentro do contexto musical (como saber ler partitura, por exemplo) é suficiente para garantir a especificidade a que se presta o estudo. No entanto, “saber ler partitura”, não confere ao sujeito o conjunto de habilidades implicadas à profissão ou à “categoria” “músico”, entendendo-se assim que a utilização do termo seja inadequada.

4 O próprio estudo em questão fornece exemplos claros com relação à questão. Alguns participantes das tarefas experimentais declararam-se ao mesmo tempo, serem “músicos” e “não terem conhecimento formal em música”.

do indivíduo, dentro do âmbito experimental, de uma categoria “músico” é, em geral, infactível.

Uma última consideração deve ser feita com relação à utilização de estímulos sonoros.

Os estímulos utilizados nas áreas de cognição ou psicologia da música, são geralmente fragmentos retirados do contexto musical, como grupos rítmicos ou de notas musicais, arpejos, escalas, acordes ou fragmentos melódicos manipulados, por exemplo. Geralmente, ainda, os estímulos são tratados de forma a estabelecer a homogeneidade necessária para estudo, exclusivamente, dos parâmetros de interesse. Assim, um excerto melódico pode ser reconstruído por sons senoidais, descartando-se variações timbrísticas, ou ter alterado seu envelope dinâmico, ou mesmo as durações de cada uma das suas notas. Se por um lado, segmentar e manipular são operações muitas vezes fundamentais para se isolar o objeto de estudo, buscando purificá-lo de possíveis interferentes, por outro, apartá-lo do contexto significa romper a relação com o objeto maior e ainda, afastá-lo deste a cada manipulação interferindo em aspectos essenciais da percepção musical Jones (1981). Assim, da mesma forma que seria errôneo inferir sobre a paisagem estudando cones ou bastonetes na lâmina de um microscópio, pondera-se cautela ao inferir acerca da música a partir do estudo de alguns poucos elementos estereotipados retirados do contexto.

O presente estudo tem como elemento central a expectativa melódica e tem como ponto de partida o estudo seminal acerca de quantificação de hierarquia tonal de Krumhansl e Shepard (1979). A ideia de expectativa melódica e hierarquia tonal, no presente contexto, tem origem no repertório da música de tradição ocidental. Por “tonal” entende-se aqui o recorte estabelecido pela ligação de um conjunto de notas com origem em uma escala, a uma nota constituída como centro tonal.

Em 1963, Charles A. Winold afirmou que as pesquisas que tratavam dos efeitos da música sobre o organismo humano ainda encontravam-se em um estágio, onde era necessário se atacar problemas pequenos, importantes, porém periféricos por natureza, não sendo possível a produção de grandes ou novas teorias

(Brookhart, 1965). Passados mais de 50 anos, avanços visivelmente foram realizados e muitos alicerces sedimentados. O edifício, entretanto, ainda encontra-se a ser construído, tijolo à tijolo, ainda considerando-se as grandes áreas de conhecimento das quais deriva a sub-área a qual diz respeito este estudo.

Toma-se portanto, por empréstimo para o presente estudo, as palavras que Winold (1963 p.12-3, citado por Brookhart, 1965 p.64) utilizou, humildemente, para descrever seu próprio estudo: "...o estudo foi realizado somente para investigar tendências e não para descobrir absolutos".

1.2. Expectativa em música

Os anos que se seguiram à publicação do artigo "A teoria matemática da comunicação" de Claude Shannon, em 1948, foram marcados pelo grande impacto da teoria da informação sobre as mais diversas áreas de conhecimento, incluindo a psicologia (Attneave, 1959), a música - abrangendo os campos como composição, análise e pesquisa (Pearce, 2007) e o renascimento da "cronometria mental" (D. E. Meyer, Osman, Irwin, & Yantis, 1988) com interesses na taxa de transmissão do sistema nervoso humano, bem como na influência da codificação de estímulos sobre essas taxas (Posner, 2005).

Platt (1961, citado por Carlsen, Divenyi, P.I. e Taylor, 1970 p.6), em um momento histórico no qual eram realizados os primeiros estudos acerca da expectativa em música, sugere o seguinte procedimento experimental:

...o investigador poderia parar uma peça musical e determinar, como Shannon fez com a linguagem, a estatística precisa das expectativas de um público; assim, de fato, medindo quantitativamente a informação transportada pelas próximas notas.

Como parte das correntes emergentes da teoria da informação, Meyer (1956) molda uma hipótese pautada na formação de expectativas, tratando a construção musical como um processo estocástico⁵. Para Meyer, (1956, 1957) o estilo constitui-se como o universo do discurso no qual o significado emerge, tendo natureza probabilística, alinhando-se a uma cadeia de Markov. O estilo, ainda, varia de cultura para cultura, ou de época para época dentro da mesma cultura, não sendo um ente físico imutável, mas algo que opera sobre a psicologia humana e é apreendido pela experiência. Assim, o elemento invariante da referida relação não é o estilo, mas, segundo Meyer (1957 p.413), a “psicologia dos processos mentais humanos”.

A construção da relação com a teoria da informação só se faz possível uma vez que música de tradição ocidental, tratada por Meyer (1956, 1957), é constituída por elementos discretos (notas musicais) organizados por relações bem definidas permitindo assim a apreensão, em grande parte tácita, de regras e relações prováveis, de acordo com a oferta estatística perceptual, e, assim, permitindo a formação de expectativas .

Uma abordagem interessante acerca da expectativa e bastante útil em sua aplicação ao contexto musical é fornecida por Jones (1981).

Jones (1981)⁶, toma a expectativa como um conjunto de vetores estruturados no tempo que comportam dois componentes, sendo um deles “algo” (por exemplo, A, e não B) e o outro uma ocorrência no tempo. No contexto musical, o desenvolvimento melódico, por exemplo, permite ao ouvinte efetuar previsões não somente sobre “qual” será a próxima nota a ocorrer, mas também sobre “quando” irá ocorrer.

5 Segundo Attneave (1959): “Processo estocástico é qualquer sistema que dê origem a uma sequência de símbolos a qual se aplique leis da probabilidade”, podendo ser de extrema simplicidade, como uma moeda atirada, como complexa, como uma sequência de notas de uma composição musical.

6 Jones (1981) defende, na ocasião, a incorporação do tempo como um componente essencial do conceito de expectativa. Segundo Jones (1981), a ideia de expectativa encontra-se, a seu tempo, frequentemente ligada a aspectos tais como eventos de escolha ou posição no espaço, sendo sua dimensão temporal negligenciada. “A tendência de se concentrar nos eventos de escolha em si e não no fato de que a expectativa implica em eventos que ocorrem no futuro, negligencia o importante papel da dimensão temporal. Esperamos não somente A ao invés de B, mas, A nos próximos segundos, minutos ou horas, dependendo do intervalo de tempo sobre o qual a expectativa varia (Jones, 1981 p.36)”.

Segundo o modelo proposto por Jones (1981 p. 37) “as regularidades objetivas nos padrões musicais estimulam movimentos que seguem caminhos direcionados”. As “direções” seriam balizadas pelas relações harmônicas e melódicas inerentes ao repertório de uma dada cultura.

A figura 1 mostra dois tipos de expectativa, uma delas harmônico-tonal, associada a uma escala e seu respectivo campo harmônico, e a outra ritmica-melódica. A expectativa melódica constitui-se pela transformação de notas sucessivas em função do tempo.

Do modelo decorrem dois conceitos sintetizados : (1) **Expectativa** é um vetor cognitivo espaço-tempo que é futuro-derecionado e (2) **Quadro de referência perceptual**, definido como um “movimento senoidal subjetivo que percebe uma dada nota esperada” (Jones, 1981 p.37) e, assim, importante para a avaliação de eventos não esperados pelo ouvinte.

O desenvolvimento melódico provê continuamente a emergência de novas famílias de vetores, alterando o quadro de referência perceptual, evidenciando o caráter dinâmico da expectativa melódica, ou seja, os conjuntos de vetores funcionam como protótipos ideais, que podem ou não ser atendidos pelos eventos reais.

Dois esquemas de expectativa

Figura 1: Dois tipos de esquemas de expectativas: harmônico e melódico. Ambos consistem de conjuntos de vetores cognitivos em um sistema de coordenadas de duas dimensões. Modificado de Jones (1981).

Huron (2007) oferece um outro olhar com relação às expectativas, fundamentando seu modelo na teoria da evolução. O modelo é composto por cinco elementos, cada qual ligado a uma função biológica específica⁷. No que se refere à música⁸, a teoria tem como elemento central a surpresa. A sensação de surpresa, por sua vez, teria como mecanismos subjacentes, sistemas inatos ligados ao medo.

7 Sendo: (1) imaginação: motivar o organismo a incrementar a probabilidade de futuros resultados positivos; (2) tensão: preparar o organismo, adequando atenção e excitação para relacionar o nível de incerteza e importância do evento iminente; (3) predição: prover reforços positivos e negativos que incentivem expectativas precisas. (4) reação: abordar o pior caso possível gerando uma resposta protetora imediata; (5) avaliação: prover reforço positivo e negativo relacionados ao valor de diferentes estados biológicos (Muniz, 2013).

8 Os estudos de Huron (2007) têm fortes raízes nas ideias de Meyer (1956). Portanto, ao referir-se à “música” trata de um olhar probabilístico do repertório de tradição ocidental.

Huron (2007) descreve um sistema com duas vias paralelas, sendo, uma “rápida”, responsiva invariavelmente ao pior cenário possível e uma via “lenta”, “analítica”, portanto fornecendo respostas mais adequadas ao estímulo/ cenário real. Segundo sua descrição, quando um organismo é exposto a um estímulo supostamente aversivo, a via rápida entra em ação, fornecendo respostas imediatas de proteção (luta, fuga ou congelamento). Entretanto, caso o estímulo não seja de fato agressivo, a via lenta entra em ação, corrigindo a resposta de forma a adequá-la à situação real. A relação entre as duas respostas deflagradas caracterizaria a “surpresa”. Como uma forma de exaptação⁹, a música partilharia dos mesmos mecanismos responsáveis pelo medo, beneficiando-se das respostas emocionais deflagradas a partir dos mesmos.

A ideia de expectativa, formada a partir da experiência do ouvinte com o repertório, portanto, ligada à memória de longo prazo, encontra-se por trás de inúmeras abordagens experimentais.

Krumhansl e Shepard (1979) criaram um método para quantificação da estabilidade de hierarquia em contexto tonal. Conduziram, então, um experimento tendo como hipótese central a apreensão de relações intrínsecas ao material musical por parte do ouvinte. No experimento os participantes eram expostos a escalas musicais de Dó maior¹⁰ com a última nota omitida. A escala era completada por uma entre treze notas da escala cromática¹¹. A tarefa dos participantes era julgar, atribuindo notas de 1 a 7¹², o grau de adequação da última nota (chamada de “probe

9 Termo cunhado por Gold & Vrba (1982) para distinção entre mecanismos adaptativos, desenvolvidos por seleção natural, daqueles cooptados para outros fins.

10 A escala de Dó maior é formada pela sequência de notas: Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá, Si, Dó. A escala era apresentada na forma ascendente (Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá, Si, [probe]) e descendente (Dó, Si, Lá, Sol, Fá, Mi, Ré [probe])

11 Cromático (grego:chrôma=cor)=notas coloridas, ou seja, alteradas ascendente ou descendente (Koellreutter, 1986). A escala cromática é formada pelas notas: Dó, Dó#, Ré, Ré#, Mi, Fá, Fá#,Sol, Sol#, Lá, Lá#, Si, Dó.

O símbolo “#”, representa a alteração da nota em um semitom ascendente. Semitom é a menor distância intervalar existente entre duas notas, matematicamente estabelecida por $f \cdot \sqrt[12]{2}$, sendo f a frequência inicial. Assim, se por exemplo, a nota Lá refere-se à frequência de 440Hz, a nota Lá# referir-se-á a $440 \cdot \sqrt[12]{2} = 466,16 \text{ Hz}$

12 Sendo 1 a pior adequação possível e 7 a melhor adequação possível.

tone”) em relação à escala apresentada. O experimento utilizou voluntários com diversos graus de expertise musical.

A ideia é que a apresentação da escala incompleta, cria forte expectativa com relação à nota de complementação da escala. Algumas notas, no entanto, apresentam maior relação com a escala apresentada, adequando-se melhor do que outras. Se, então, o contato com o repertório promove a internalização de regras e relações do mesmo, as finalizações deveriam ser julgadas de acordo com gradações correlatas às relações descritas pela teoria musical.

Foram encontrados três diferentes perfis de avaliações de acordo com média de expertise de cada um dos grupos de participantes. O grupo dos participantes com maior expertise musical apresentou respostas mais próximas ao esperado, sendo a tônica mais bem avaliada que todas as outras notas, independente da oitava, seguida pelos graus III e V e, posteriormente, as outras notas naturais da escala. O grupo intermediário avaliou a tônica na oitava de complementação da escala melhor do que a oitava. Ainda assim, a tônica foi o grau mais bem avaliado aos demais. Observou-se também preferência pelas notas da escala diatônica¹³ em relação às demais, embora em grau menor do que o grupo com maior expertise. O grupo com menor expertise apresentou uma tendência forte a avaliar as notas de forma inversamente proporcional à distância intervalar e relação à nota esperada. Os resultados, então, evidenciaram forte influência do expertise no padrão de avaliação das notas de finalização da escala além de fornecer subsídio experimental para a teoria de hierarquia tonal.

A partir de meados dos anos 1980 estudos voltados à expectativa musical utilizando tomada de tempo de reação começaram a ser publicados, obtendo resultados que apontam para validação da técnica como ferramenta para o estudo de expectativa.

13 Diatônico, do grego, “diatonikos”- procedendo por tons – procedendo conforme a sucessão natural de tons e semitons, nos modos, e nas escalas maior e menor (Koellreutter, 1986). “Escala maior” é uma sequência ordenada de notas retiradas da gama cromática de forma a estabelecer a sequência de relações intevalares : tom, tom, semitom, tom, tom, tom semitom.

Estudos de imageamento realizados a partir do final dos anos 1990, por outro lado, vêm mostrando a participação dos mecanismos de recompensa, os mesmos associados a comportamentos motivados, como comportamento sexual ou alimentar, durante audição passiva de música de tradição ocidental (Blood, Zatorre, Bermudez, & Evans, 1999; a Blood & Zatorre, 2001; Menon & Levitin, 2005). Os mecanismos de recompensa têm forte ligação com a formação de expectativas, sendo associados a aprendizado e respostas hedônicas.

O estudo de Krumhansl e Shepard (1979), assim como as teorias de Meyer (1956), continuam sendo forte referência para estudos na área de expectativa musical. Assim, como primeira abordagem do presente estudo, propôs-se ampliar o já bem estabelecido desenho experimental de Krumhansl e Shepard (1979), para investigar aspectos da teoria de Meyer (1956). A utilização de 13 *probe tones*, englobando toda a escala cromática no desenho experimental utilizado por Krumhansl e Shepard (1979) provê finalizações à escala apresentada que violam a expectativa nos seus mais diversos graus. Para Meyer (1956) a violação de expectativas é responsável pela emergência de emoção e significado musical. A medida de alterações eletrodérmicas têm sido amplamente utilizada para detecção de repostas emocionais. Esperava-se que a tensão causada pela violação de expectativas poderia, dessa forma, ser detectada em forma de alterações na resistência da pele. Há, por outro lado, evidências que o tempo de reação de respostas a estímulos sonoros do contexto tonal relacione-se de forma inversa à magnitude da expectativa (Janata & Reisberg, 1988; Frankland & Cohen, 1990; Aarden, 2003).

1.3. Breve panorama sobre a hipótese de Meyer

Meyer (1956) aborda o problema do significado musical e das respostas emocionais à música a partir de sua identificação no âmago de duas linhas distintas de posicionamento estético: formalismo e expressionismo. Segundo Meyer (1956), *formalistas*, como Hanslick, por exemplo, entendem o significado musical como exclusivamente intelectual e com origem no interior do próprio material musical. Os *expressionistas*, por sua vez, entendem o significado musical como de ordem emocional, passível de deflagrar sentimentos e emoções no ouvinte. A origem do significado para os expressionistas, no entanto, é entendida segundo dois pontos de vista: o *absolutista*, que entende a emergência do significado com origem nas relações intramusicais, e o *referencialista*, que entende o significado como algo que aponta para fora do material musical.

Tanto formalistas quanto absolutistas têm problemas em responder de que modo conteúdo intelectual e emocional, respectivamente, vêm a emergir do universo abstrato do qual se constitui o material musical. A dificuldade estaria relacionada ao entendimento equivocado do conceito de significado. Meyer (1956) aponta para duas classes de significados: designativos e incorporados. O *significado designativo* é o mais comumente empregado, como quando uma palavra aponta para algo de natureza diferente dela própria. No *significado incorporado*, por outro lado, antecedente e conseqüente apontam para elementos de mesma natureza, como quando “uma luz no horizonte prenuncia o início do dia”. Na música, a emergência de significado incorporado se dá pela interpretação das relações entre seus elementos internos em suas devidas hierarquias, ou seja, pelo entendimento da relação entre notas, frases, períodos ou seções, por exemplo. É a esse tipo de significado, incorporado, ao qual Meyer (1956) orienta sua argumentação¹⁴.

14 Meyer trata exclusivamente da música tradicional ocidental.

Uma vez que a música tonal é constituída por um conjunto finito de elementos discretos (notas musicais), manipulados segundo padrões determinados e organizados segundo divisões temporais estabelecidas, pode-se entender o sistema, como um todo, como um sistema probabilístico, onde o material musical é tomado por espaço amostral, como conjunto de possibilidades, e os padrões, estabelecidos pelo estilo, como conjunto de probabilidades. O sistema entendido como probabilístico, possuindo “caminhos” mais prováveis, ou cursos “naturais” de desenvolvimento, é alinhado por Meyer (1956) à teoria da informação, segundo a qual a quantidade de informação é inversamente proporcional à probabilidade de ocorrência.

Assim, significado musical e respostas emocionais, bem como suas respectivas magnitudes, emergiriam, segundo Meyer (1956), pelo bloqueio ou retardamento do fluxo natural da informação, ou seja, pela introdução de elementos menos prováveis no lugar de mais prováveis, alinhando significados e respostas emocionais aos preceitos da teoria da informação.

A formação de expectativas pelo ouvinte seria moldada pela formação de hábitos de escuta. Assim, elementos normalmente mais recorrentes seriam incorporados como mais esperados que elementos menos recorrentes, de forma que a escuta e a formação de expectativas se construiria de acordo com a oferta estatística de material musical, pressupondo assim, aprendizado. A emergência de significados e respostas emocionais por parte do ouvinte se daria pela “diferença” entre o evento esperado e o evento real.

1.4. Música e Emoção – substrato neural

Segundo Jerison (2000, p.178) "as bases biológicas da nossa experiência musical são relacionadas à biologia da inteligência humana; isto é, à nossa capacidade de conhecer o mundo exterior."

Outrossim, Mithen (2009, p. 4) sublinha que:

[...] o estudo da evolução humana não é simplesmente sobre a evolução de como começamos a andar de pé, em duas pernas, como novos tipos de ferramentas foram inventadas e como nos dispersamos em torno do globo, por exemplo. É sobre como nos tornamos humanos no sentido amplo do termo, e uma parte chave do ser humano é ser musical. Pela última afirmação - que ser humano é ser musical – Quero dizer que a capacidade para música está profundamente incorporada no genoma humano: é parte da nossa biologia mais do que meramente da nossa cultura, e só poderia ter chegado lá através de um processo evolutivo

O desenvolvimento das técnicas de imageamento propiciou avanços importantes na identificação das estruturas cerebrais envolvidas no processamento musical. No final do século XX diversos estudos identificaram a participação de estruturas ligadas a sistemas de gratificação, normalmente associados a comportamentos motivados, tais como alimentar, sexual ou consumo de drogas, no processo de audição musical.

Blood e Zatorre (2001) avaliaram a intensidade de arrepios engendrados pela audição musical utilizando tomografia por emissão de pósitrons¹⁵ (PET) concomitante ao monitoramento de batimentos cardíacos, frequência respiratória,

15 A tomografia por emissão de pósitrons é uma modalidade de diagnóstico por imagem de medicina nuclear que tem por objetivo avaliar o funcionamento metabólico de tecidos e órgãos, ou seja, fisiologia. A formação da imagem nessa modalidade ocorre pela detecção da energia gama liberada pela aniquilação entre um elétron e um pósitron, este, oriundo do radiofármaco. O radiofármaco é um composto administrado ao paciente, antes do exame, formado por uma solução fisiológica, cujo metabólito é utilizado pelo tecido que se quer estudar, agregado a um radioisótopo que se associe à solução. Assim, maior detecção de eventos de aniquilação pósitron-elétron, significam maior concentração de radiofármaco no tecido, e, portanto, maior atividade metabólica (Castro Jr., 2006).

eletromiograma e temperatura da pele dos participantes. Observou-se no estudo a correlação entre a percepção de arrepios e alterações de frequência cardíaca, respiração e eletromiograma, além de identificar a ativação do estriado ventral esquerdo, mesoencéfalo dorsomedial, ínsula bilateral, córtex orbitofrontal direito, tálamo, córtex cingulado anterior, área motora suplementar e cerebelo (bilateral). Observou-se também decréscimo de rCBF¹⁶ com o aumento da intensidade de arrepios na amígdala direita, hipocampo/amígdala esquerda, córtex pré-frontal ventromedial e, bilateralmente, em regiões neocorticais posteriores, particularmente nas regiões cuneus/precuneus.

Com a utilização da ressonância magnética funcional (fMRI) associada a métodos matemáticos de conectividade funcional e efetiva,¹⁷ Menon e Levitin (2005) mostraram, pela primeira vez¹⁸, a modulação, durante a audição musical, da atividade de estruturas mesolímbicas envolvidas em processamento de recompensa, entre as quais o núcleo acumbente e a área tegmental ventral, além do hipotálamo e da ínsula, regiões geralmente associadas à regulação autonômica e respostas fisiológicas a recompensas e estímulos emocionais. O estudo evidenciou também, a correlação entre liberação de dopamina e ativação do núcleo acumbente em resposta a audição de música tonal (Menon e Levitin, 2005).

A Tabela 1 mostra uma síntese elaborada por Juslin e Västfjäll (2008) dos mecanismos pelos quais a música pode induzir emoções e as respectivas regiões envolvidas.

16 Do inglês: "regional cerebral blood flow"

17 O método de análise de neuroimagem chamado de conectividade funcional é definido por Friston (1994) como as correlações temporais entre eventos neurofisiológicos espacialmente remotos, enquanto que a conectividade efetiva, como as influências que um determinado sistema neuronal exerce sobre o outro.

18 Embora estudos anteriores tenham apontado para a ativação de regiões ligadas à recompensa, a verificação estrita de que os sistemas ativados durante a audição musical eram os mesmos utilizados por outros comportamentos motivados, tais como comportamento alimentar ou sexual dependia, em primeiro lugar, de técnicas de imageamento mais precisas, visto que a PET não possui resolução espacial suficiente para a determinação do envolvimento do núcleo acumbente. Uma vez detectada a ativação, esta deveria, ainda, ocorrer em um momento preciso, após a ativação de estruturas do lobo frontal, responsáveis por pelo processamento do esqueleto e significado musicais (Levitin, 2010).

Tabela 1: Mecanismos de indução de emoção em música e as principais regiões nervosas envolvidas (Juslin & Västfjäll, 2008).

Mecanismo	Indução	Principais regiões envolvidas
Reflexos de tronco encefálico	Estímulo acústico como dissonância ou som com alta intensidade	Formação reticular do tronco encefálico e núcleo intralaminar do tálamo e colículo superior
Condicionamento avaliativo	Ex. reconhecimento de tema x sentimento associado	Núcleo lateral da amígdala e núcleo interpositus do cerebelo
Contágio emocional	Espécie de mimetização	Neurônios espelho na região pré-motora, frontal inferior direito e gânglios da base.
Imagens visuais	Construção de imagens visuais como por exemplo imagens da natureza	Regiões espacialmente mapeadas do córtex occipital e córtex visual associativo
Memória episódica	Associação determinada música com experiências conscientes do passado	Lobo medial temporal, especialmente hipocampo e córtex pré-frontal anterior direito
Expectativa musical	Reconhecimento estrutura musical	da Córtex perisilviano esquerdo, área de Broca e região dorsal do cíngulo anterior.

1.5. Respostas Galvânicas da Pele

Alterações das propriedades elétricas da superfície da pele são fortemente relacionadas a processos psicológicos e vêm sendo amplamente utilizadas em pesquisas voltadas à atenção, processamento de informação e emoção (Dawson,

Schell & Fillion, 2007). As mudanças na atividade eletrodérmica e condutância da pele ocorrem pela atividade das glândulas sudoríparas écrinas, por sua vez, relacionadas à atividade da divisão simpática do sistema nervoso central (Figner & Murphy, 2010).

O sistema simpático é uma das duas divisões complementares compreendidas pelo sistema nervoso vegetativo. O sistema nervoso vegetativo ou sistema neurovegetativo (SNV) é uma extensa rede de neurônios interconectados, controlados pela zona periventricular do hipotálamo, amplamente distribuídos nas cavidades do organismo

O SNV inerva glândulas, músculo liso e músculo cardíaco, incluindo (1) glândulas salivares, sudoríparas, lacrimais e outras glândulas produtoras de muco; (2) coração e vasos sanguíneos, controlando pressão e fluxo sanguíneo; (3) brônquios dos pulmões, regulando a necessidade de oxigênio no corpo; (4) regulação das funções digestivas e metabólicas do fígado, trato gastrintestinal e pâncreas; (5) regulação das funções dos rins, bexiga, intestino grosso e reto; (6) respostas sexuais dos órgãos genitais e reprodutores; (7) interação com o sistema imunitário do organismo (Bear, Connors & Paradiso, 2008).

As glândulas écrinas sudoríparas consistem, em si, de um corpo compacto enrolado que é a porção secretora da glândula, e o duto sudoríparo, o longo tubo que é a porção excretora da glândula. O duto sudoríparo permanece relativamente em linha em seu caminho através do estrato de Malpighi e do estrato lúcido, depois em espiral através do estrato córneo e abre como um pequeno poro na superfície da pele (Edelberg, 1972a citado por Dawson et al., p. 61).

Figura 2: Anatomia da glândula écrina sudorípara em várias camadas de pele (Dawson et al., 2007)

O termo “atividade eletrodérmica” refere-se a uma forma geral de fenômenos elétricos passíveis de medida na superfície da pele. Uma das formas de medida da atividade eletrodérmica é a medida de condutância da pele, que utiliza o *microsiemen* (μS) como unidade¹⁹. A medida de condutância refere-se, basicamente, a quão bem a pele conduz eletricidade quando aplicada uma diferença de potencial entre dois pontos distintos²⁰. A condutância da pele, por sua vez, varia em função da secreção de suor pelas glândulas sudoríparas écrinas. Uma vez que o suor é um eletrólito, quanto maior a quantidade de suor secretada, maior a condutância da pele.

A relação entre as glândulas écrinas e a condutância da pele pode ser pensada como associações de resistores variáveis em paralelo, uma vez que as colunas sudoríparas são preenchidas em diferentes quantidades e em variado

19 As unidades típicas da atividade eletrodérmica são (i) microsiemens (μS) ou (ii) micromho (μmho). As unidades são equivalentes: $1\mu\text{S} = 1\mu\text{mho}$ (Braithwaite, Watson, Robert, & Mickey, 2013)

20 A quantificação é feita aplicando-se uma diferença de potencial entre dois pontos da pele e medindo-se a corrente resultante que flui, segundo a lei de ohm.

número de glândulas dependendo do grau de ativação efetuado pela divisão simpática do SNV.

A condutância da pele é medida, tipicamente, com o posicionamento de dois eletrodos na superfície volar²¹ dos dedos ou das palmas das mãos ou, por vezes, na sola dos pés (Figner & Murphy, 2011; Dawson et al., 2007), sendo o posicionamento dos mesmos, a menos que haja algum tipo de impedimento, recomendado nas falanges distais dos dedos (Dawson et al., 2007). A superfície volar das mãos e pés é apropriada para a medida de condutância da pele em função da alta densidade de glândulas sudoríparas écrinas e da facilidade de acesso. Outrossim, as glândulas sudoríparas écrinas das superfícies volares, diferentemente de outras localizações, têm sido relacionadas fortemente mais a processos mentais - *transpiração emocional*, em resposta a eventos positivos e negativos como também para resultados esperados e antecipados (Boucsein, 1992 citado por Figner & Murphy, 2011) - do que à termorregulação (Figner & Murphy, 2011).

A atividade eletrodérmica é dividida em dois tipos: tônica e fásica, sendo o primeiro tipo relacionado a medidas de longa escala de tempo (10s a 10min., tipicamente) e o segundo, relacionado a picos de condutância, em curto espaço de tempo. Cada pico, dessa forma, representa uma resposta individual de condutância da pele (Figner & Murphy, 2011).

A Figura 3 mostra uma resposta típica de SCR²².

21 O termo “volar” refere-se à parte inferior das mãos ou dos pés, isto é, a palma das mãos e a sola dos pés, incluindo os dedos (Figner & Murphy, 2011).

22 Do inglês: *Skin conductance response*.

Figura 3: Sinal de condutância da pele mostrando componentes de SCR que podem ser utilizados para qualificação quantitativa (Figner & Murphy, 2011).

A apresentação de um estímulo novo, inesperado, significativo ou aversivo irá provavelmente elicitar SCR referida como “SCR específica”. Com exceção das respostas elicítadas por estímulos aversivos, essas SCRs são, geralmente, consideradas componentes de uma resposta de orientação (OR). Como é também o caso com NS-SCRs²³, deve-se decidir o mínimo de mudança de amplitude na condutância para considerar como SCR elicítado. Valores mínimos entre 0,01 e 0,05 μS são geralmente usados. Outra decisão com respeito à contabilização de SCRs específicas diz respeito à janela de latência durante o tempo no qual uma resposta será assumida como sendo elicítada pelo estímulo. Baseada na frequência de distribuição de latências de respostas a simples estímulo é comum utilizar 1-3s ou 1-4s, seguido do início do estímulo é considerado elicítado pelo estímulo. É importante selecionar janelas de latência razoavelmente pequenas, talvez ainda mais curtas que 1-3s para reduzir a probabilidade de NS-SCRs serem contadas como SCRs elicítadas (Levinson, Edelberg, & Bridger, 1984 citado por Dawson et al., 2007 p.164).

Rickard (2004) sugere que a medida de condutância da pele pode funcionar como índice de intensidade de respostas emocionais à música, corroborando a tese de que as respostas emocionais elicítadas pelas música não se diferem das respostas emocionais habitualmente experienciadas no cotidiano. “Curiosamente, uma vez que a condutância da pele é inervada inteiramente pelo sistema nervoso simpático, incrementos na condutância da pele parecem ser linearmente

²³ Segundo Dawson et al., (2007), se a SCR ocorre na ausência de um estímulo identificável, referir-se-á a ela como SCR espontânea ou não específica (NS-SCR).

correlacionados com incrementos de *arousal*²⁴. Portanto, a condutância da pele pode ser considerada como uma das medidas de intensidade de emoção mais puras em relação a outras medidas fisiológicas (Rickard, 2004 p. 382).

Bradley & Lang (2000) investigaram a reação a sons que ocorrem naturalmente em eventos e verificaram que incremento na condutância da pele correlacionam-se com incremento na taxa de *arousal*. O estudo verificou que os sons testados variaram amplamente em *arousal* e valência, resultando em dois espaços dimensionais afetivos, similares aos obtidos em estudo prévio com figuras, resultados estes, consistentes com a ideia de que os sistemas motivacionais apetitivo e defensivo, subjazem os julgamentos afetivo.

1.6. Cronometria Mental

O termo “cronometria mental” é definido por Posner (1986, p.7) como “o estudo do curso temporal de processamento de informação no sistema nervoso humano” e assim, utilizado para delinear um amplo arcabouço de técnicas e metodologias que utilizam a medida de tempo como ferramenta para estudo de “processos mentais”. A cronometria mental se constitui, assim, como uma ferramenta padrão para o estudo do processamento temporal no sistema nervoso, sendo utilizada por segmentos científicos que incluem a psicologia experimental e as neurociências (Medina, Wong, Diaz & Colonius, 2015).

O ponto de partida do que conhecemos como cronometria mental, se estabelece pela confluência entre ciências exatas e “ciências do homem”, tecido em

24 “Arousal” pode ser traduzido sinteticamente como um estado de alerta ou de ativação do organismo estreitamente ligado a estados atencionais.

meados do século XIX pelos campos da astronomia, fisiologia e da recente psicologia experimental (Canales, 2001).

A astronomia lidava com o problema da diferença entre registros de observações do trânsito de estrelas realizados por observadores diferentes. O astrônomo alemão Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) comparou, sistematicamente, registros de observações próprias com registros de observações de outros astrônomos (Sanford, 1888), tratando do problema que seria posteriormente conhecido como “personal equation”²⁵(Hoffmann, 2007). Bessel teria notado que as diferenças entre observações permaneciam fixas entre os mesmos observadores, mas variava entre diferentes observadores (Canales, 2001), logo, a latência observada deveria estar ligada a fatores involuntários individuais.

Por outro lado, Herman von Helmholtz relatou, em 1850, ter medido a velocidade de propagação de estímulos elétricos que percorriam nervos de rãs (Debru, 2006; Schmidgen, 2002). Até então considerava-se que a velocidade do trânsito pelo tecido nervoso teria magnitude da mesma ordem de grandeza da velocidade da luz, sendo sua medida em um espaço pequeno como o dos nervos, impraticável (D. E. Meyer et al., 1988). O estudo é apontado pelos historiadores da ciência como marco inicial de um novo ramo de pesquisa que nas décadas seguintes ficou conhecido como “física dos nervos e músculos” e que, em tempos atuais, recebeu o nome de “neurofisiologia” (Schmidgen, 2002).

Helmholtz estendeu seus estudos para seres humanos e, visto a impossibilidade de utilização do tecido preservado em separado do resto do organismo, tal qual realizara com os nervos de rã, adaptou a técnica, verificando que a estimulação do tecido humano pela passagem de corrente elétrica causava contração muscular. Assim, a tomada de tempo poderia ser realizada entre o início da aplicação do estímulo e a contração muscular em si, aproximando a técnica do

²⁵ Segundo Hoffman, (2007), a expressão “personal equation” aparece impressa pela primeira vez em 1833, como definição do método matemático criado por Jonh Pond (1767-1836) para detectar e calcular as diferenças de notação decorrentes da observação do trânsito de estrelas.

que hoje é conhecido como tomada de “tempo de reação simples²⁶” (Schmidgen, 2002).

O astrônomo Adolphe Hirsch começa, na segunda metade do século XIX a realizar pesquisas que mesclam fisiologia e astronomia, dedicando-se especialmente a estudar a “velocidade de operações fisiológicas envolvidas em observações astronômicas” (Canales, 2001 p. 184). Hirsch foi um dos primeiros após Helmholtz a publicar acerca da velocidade de condução nos nervos. Em 1862 cunhou o termo “tempo fisiológico” para definir a soma entre o tempo de aplicação do estímulo e a reação motora descrita por Helmholtz. O termo foi, posteriormente, adotado por Wilhelm Wundt quando da publicação, em 1874, do primeiro livro acerca da emergente disciplina da psicologia, “Princípios da psicologia fisiológica” (Schmidgen, 2002).

De acordo com Hirsch, os trabalhos de Helmholtz teriam sido uma de suas principais influências²⁷ e seu “tempo fisiológico” estaria em concordância com os três elementos²⁸ descritos por Otto Ule acerca do trabalho de Helmholtz: (1) transmissão da sensação ao cérebro, (2) a ação do cérebro, a qual consiste em transformar sensação em ato volitivo e (3) a transmissão da volição através dos nervos motores e a execução do movimento muscular (Canales, 2001).

26 O termo “tempo de reação”, no entanto, teria sido cunhado por Sigmund Exner. Canales (2001) relata que Hirsch lamenta que Exner, por não conhecer os trabalhos realizados por astrônomos exceto pela revisão do então renomado divulgador da ciência, Rodolphe Radau, tenha repetido muito do seu trabalho, alegando ainda que o “tempo de reação” de Exner seria seu velho “tempo fisiológico”. Consta, no entanto, na revisão de Radau, que Exner conhecia os experimentos fisiológicos realizados pelo astrônomo, e que teria cunhado o termo “tempo de reação” para lidar com termos considerados opacos, como “personal time”, “personal errors” ou “personal differences”.

27 Segundo Canales (2001) o contato de Hirsch com o trabalho de Helmholtz, assim como o de du Bois-Reymond e Friedrich Bessel, também considerados referências, teria se dado unicamente pela leitura de uma carta do escritor científico Otto Ule ao geologista Eduard Desor com a descrição dos respectivos trabalhos. A carta foi publicada na “Revue suisse” sob o nome de “Medição do pensamento”. Hirsch, ao invés de referir diretamente às pesquisas, o faria sempre em relação à descrição de Ule, indicando ser essa sua única fonte com relação aos trabalhos.

28 Schmidgen (2002) enfatiza que Helmholtz teria sido influenciado pelos conceitos utilizados na telegrafia. Os três aspectos são descritos, assim, da seguinte forma (1) envio do sinal (estímulo) e uma outra parte, necessária para a (2) “transmissão da mensagem” pelos nervos motores. Uma última porção seria requerida pelo cérebro e para (3) processamentos perceptivos e volitivos.

O curso da pesquisa iniciada em 1848 levaria Helmholtz, cerca de 20 anos mais tarde, a estender o escopo das medidas de tempo, que nos experimentos iniciais em humanos já imbricava-se a aspectos volitivos, à emergência da sensação de consciência visual, movendo-as, segundo Debru, (2001), do campo da fisiologia pura à “parte psicológica da fisiologia do sentido”.

Atualmente, o campo da cronometria mental utiliza além do tempo de reação simples, medidas de potenciais elétricos e magnéticos e associações com ferramentas de imagem tais como PET e fMRI capazes de prover consideráveis “insights” acerca da natureza do pensamento (Posner, 2005). A tomada de tempo de reação, no entanto, continua a ser uma ferramenta importante, sobretudo, em investigações voltadas à atenção e memória.

Segundo (Niemi & Näätänen, 1981 p.133):

O tempo de reação é usado, hoje, primariamente para (1) estudar a natureza dos processos mentais incluindo suas estruturas subjacentes, medindo o tempo que levam para realizar determinadas performances ou seus componentes e (2) para estudar processos de reação como tal, manipulando características do estímulo, respostas e preparação do sujeito para a tarefa

Segundo Meyer et al. (1988 p.5):

O paradigma da cronometria mental envolve procedimentos experimentais nos quais um sujeito (isto é, humano ou outro organismo) experiencia uma série de testes. Cada teste começa com um sinal de alerta (por exemplo, luz ou som) seguido de um breve *foreperiod*. O *foreperiod* serve para maximizar o estado de atenção e alerta do sujeito. Após o *foreperiod*, um estímulo de teste (por exemplo, um padrão visual ou auditivo) é apresentado. Dado o estímulo, o sujeito deve fornecer uma resposta claramente apropriada (um movimento manual, por exemplo) com rapidez e acurácia. O tempo de reação (TR) do indivíduo é medido desde o início do estímulo até a ocorrência da resposta²⁹. Em um procedimento de tempo de reação simples, por exemplo, há somente um estímulo possível e uma possível resposta. Em um procedimento de tempo de reação de escolha, há múltiplos estímulos e múltiplas respostas, com diferentes respostas atribuídas à diferentes estímulos. Para estimular

²⁹ Segundo Schlittenlacher & Ellermeier (2015) embora o tempo de reação seja definido como o tempo entre o início do estímulo e a reação registrada, não há como especificar, no caso do som, um simples ponto no tempo, sendo improvável, dessa forma, que o TR possa ser determinado pelo início exato da onda sonora.

bom desempenho, são muitas vezes fornecidos feedback e recompensas com base na velocidade e acurácia do indivíduo.

O tempo de reação define-se sinteticamente, dessa forma, como o tempo mínimo necessário para a produção de respostas corretas. A associação entre tempo mínimo e acurácia é, assim, a propriedade que torna o tempo de reação utilizável (Pachella, 1973).

Pachella (1973) pondera, entretanto, que a definição representa um pressuposto teórico, já que na prática, não há garantias de que o sujeito experimental esteja, de fato, produzindo respostas com o mínimo possível de tempo enquanto mantém acurácia. Performances isentas de erro, por outro lado são raras, de forma que, geralmente, os sujeitos experimentais operam abaixo do nível considerado ideal. A Figura 4 considera um tipo de experimento de processamento de informação onde o participante, além de instruído da forma usual a responder o mais rápido possível, é induzido, a cada bloco, a operar de forma distinta com relação à sua velocidade de resposta.

Pachella (1974) traça algumas considerações acerca dos possíveis efeitos limitadores de interpretabilidade dos tempos de reação que as taxas de erro podem causar.

Figura 4: Curva idealizada de velocidade vs. acurácia. O círculo vazio representa o ponto considerado como ideal de acordo com a definição de tempo de reação. Modificado de Pachella (1973).

Em primeiro lugar, observa que taxas de erro pequenas costumam ser ignoradas pelos pesquisadores, por assumirem, erroneamente, que a variabilidade é inerente a *performance* esperada dos sujeitos experimentais. Ocorre que, geralmente, as tarefas utilizadas nesse tipo de experimento são de extrema simplicidade, de forma que dificilmente ocorreriam erros caso o sujeito experimental não se encontrasse sob a pressão do tempo. Dessa forma, parece improvável que os erros sejam resultado da variabilidade inerente ao sujeito, mas sim, do fato de estarem operando além do ponto considerado ideal. O fato, no entanto, de os sujeitos não operarem de acordo com o ponto considerado ideal não deve ser considerado preocupante, mas sim, o fato da possibilidade do critério de respostas, em sua relação entre velocidade e acurácia, variar em função da condição

experimental, já que, nesse caso, as diferenças de tempo de reação obtidas não seriam inteiramente em função de diferenças subjacentes ao processamento da informação. Finalmente, observa que pequenas diferenças nas taxas de erro podem levar a grandes diferenças nos tempos de reação, especialmente no intervalo de acurácia de 90 a 100 por cento, geralmente utilizado como base nos experimentos de tempo de reação.

Tais considerações, dessa forma devem, do ponto de vista prático, serem levadas em conta de forma cuidadosa, desde a concepção do desenho experimental até, principalmente, a análise dos resultados.

1.7. Expectativa em música x tempo de reação

Ao final dos anos 1980 a tomada de tempo de reação passou a ser usada como ferramenta em estudos voltados à expectativa musical. A seguir, serão brevemente descritos nove experimentos que utilizam paradigma de *priming*³⁰ para investigação da expectativa musical. Os experimentos relacionados não representam a totalidade dos experimentos realizados, mas os encontrados na literatura que julgou-se mais relevantes para análise dentro do contexto do presente estudo.

Bharucha e Stoeckig (1986) realizaram dois experimentos utilizando tempo de reação em paradigma de *priming*. No primeiro experimento eram apresentados pares de acordes maiores e menores³¹, relacionados ou não³², sendo o primeiro

30 Priming é definido por Squire & Kandel (2003) como um tipo de memória implícita referente aos efeitos facilitadores de eventos antecedentes (primes) sobre o desempenho subsequente (respostas aos alvos).

31 Acordes são agrupamentos de três ou mais notas baseados nos graus I, III e V da escala de referência. Nos acordes maiores, o grau III tem dois tons de diferença em relação ao grau I, formando, dessa forma, um intervalo chamado de “terça maior”. Nos acordes menores, o grau III tem um tom e meio de diferença para o grau I formando um intervalo chamado de “terça menor”.

32 A relação entre acordes foi definida em um diagrama conexional no qual os acordes eram ligados às tonalidades e entre eles de acordo com seus campos harmônicos. A ideia é que a

prime e o segundo o alvo. A tarefa do participante era responder o mais rápido e acuradamente possível se o acorde alvo era maior ou menor pressionando os botões adequados. Esperava-se que acordes relacionados fossem identificados mais rapidamente que os acordes não relacionados entre si. O experimento utilizou participantes com experiência musical que passaram por um teste para verificar se eram capazes de desempenhar a tarefa.

No segundo experimento foram também apresentados pares de acordes afinados/ desafinados³³, relacionados ou não. Foram utilizados participantes com e sem experiência musical. A tarefa dos participantes era responder o mais rápido e acuradamente possível se o acorde alvo era desafinado ou não.

O terceiro experimento era idêntico ao segundo, no entanto, utilizando somente pares de acordes maior (prime) e menor (alvo).

No experimento 1 os tempos de reação foram menores para acordes maiores e relacionados. Para acordes menores, o tempo de reação foi menor para acordes não relacionados do que para acordes relacionados. No experimento 2, os alvos afinados e relacionados foram julgados mais rapidamente. Alvos relacionados foram mais facilmente julgados quando afinados e alvos não relacionados mais facilmente julgados quando desafinados, revelando um efeito priming de dupla sensibilidade e viés. O experimento 3 confirmou os resultados do experimento 2.

No ano seguinte, Bharucha e Stoeckig (1987) publicam um novo estudo, similar ao anterior, no qual manipularam o espectro dos estímulos. Os resultados mostraram que há efeito de priming, ainda que não haja sobreposição de harmônicos entre prime e alvo. Assim, novamente, encontrou-se tempos de reação menores para acordes relacionados do que para não relacionados.

Janata e Reisberg (1988) utilizam, possivelmente pela primeira vez, a tomada de tempo de reação para investigar a estabilidade de hierarquia tonal buscando validar a técnica para esse tipo de estudo. Os participantes ouviam uma escala ou acorde, seguida de um som puro retirado da escala. A tarefa dos participantes era

audição de uma acorde ativaria um nó da rede, e, em consequência, acordes aparentados, de acordo com a força da ligação entre eles.

33 Os acorde “desafinados” tiveram suas frequências alteradas em 1/8 de tom.

responder o mais rápido e acuradamente possível se o som apresentado pertencia ou não à tonalidade apresentada como *prime*. O efeito esperado ocorreu para os graus I e V, tanto para *prime* com acorde como com escala, obtendo os menores tempos de reação em relação aos outros sons da escala. No entanto, algumas anomalias foram encontradas, entrando em discordância com os resultados encontrados por Krumhansl e Shepard (1979). Embora o autor avalie a ferramenta (tomada de tempo de reação) como válida para esse tipo de estudo, seus resultados, entende-se, foram inconclusivos.

Frankland e Cohen (1990) replicaram o experimento de Krumhansl e Shepard (1979) adaptando-o para tomada de tempo de reação. Tal qual no experimento original foram apresentadas escalas de Dó Maior, ascendentes e descendentes, seguidas de um *probe tone*. A tarefa do participante foi responder o mais rápido e acuradamente possível, se a nota apresentada ao final da escala (*probe tone*) adequava-se ou não ao contexto apresentado como *prime*. Frankland e Cohen (1990) utilizaram análise de agrupamentos para formação de grupos entre os participantes, tendo por base o perfil de avaliações de cada participante. Os participantes foram, então, divididos em 12 grupos, sendo que 3 participantes não obtiveram correlação entre eles próprios e nem com os demais. Os grupos foram classificados de acordo com seus perfis de avaliação em triádicos, diatônicos e proximidade³⁴. Os grupos classificados como diatônico e triádicos foram os grupos com maior média de tempo de instrução musical. Tal como no experimento original, o método de formação de grupos baseado na matriz de correlações entre os perfis de avaliação dos participantes mostrou-se metodologicamente eficaz como critério de formação de grupos, apresentando relações coerentes com o expertise. Novamente, embora o autor aponte para a validação do método de tomada de tempo de reação nesse tipo de estudo, os resultados apresentados não foram contundentes. A relação entre perfil de avaliação tempo de reação apareceu de

³⁴ Foram considerados diatônicos, os perfis de avaliação que demonstraram preferência pelas notas da escala diatônica sobre as notas não diatônicas (sustenidos); foram considerados triádicos, os perfis que demonstraram preferência pelos graus da escala I, II e V em relação aos demais graus da escala. O rótulo “proximidade” foi atribuído aos perfis cuja avaliação foi inversamente proporcional à distância intervalar da nota esperada.

forma somente parcial, não sendo possível uma avaliação mais efetiva do método. As relações encontradas, no entanto, sugerem que, com algum refinamento, o método, pode se tornar funcional.

Ranvaud et al. (2001) realizaram uma série de cinco experimentos de *priming* melódico. No experimento 1, uma escala maior incompleta era apresentada aos participantes seguida de um entre oito *probe tones*. A tarefa do participante era apertar o botão de um *joystick*, tão logo detectasse o *probe tone*. Entretanto, foi adotado um critério “*go-no-go*”. O botão deveria ser apertado somente quando o intervalo entre o *probe* e a nota que deveria completar a escala diferissem em até três semitons. Nos experimentos 2 e 3 uma escala incompleta era apresentada aos participantes e estes deveriam pressionar um botão diretamente no computador o mais rápido possível, caso o *probe tone* apresentado diferisse dois ou menos semitons da última nota da escala (si). Nos experimentos 4 e 5, um arpejo de Mi maior era apresentado aos participantes que deveriam apertar um botão diretamente no computador, o mais rápido possível, se o *probe tone* diferisse em três ou mais semitons da última nota do arpejo. Conjuntamente, a análise dos resultados mostra que os tempos de reação e as taxas de erro não foram fortemente relacionadas à dissonância e a tonalidade e sim mais fortemente relacionada à proximidade de pitch e direção de registro.

Aarden (2003) realizou, possivelmente, o mais amplo estudo utilizando tempo de reação para determinação de estabilidade de hierarquia tonal. O estudo levanta questões importantes acerca do experimento de Krumhansl e Shepard (1979) e busca, novamente, validar o método de tomada de tempo de reação para esse fim. Foram apresentadas aos participantes, melodias retiradas do “*Essen Folksong Collection*”. Uma tela mostrava a contagem de quantas notas faltavam para a melodia finalizar. A tarefa dos participantes era responder o mais rápido possível se o intervalo entre a nota de finalização e a penúltima nota era ascendente ou descendente. Durante a tarefa, um contador mostrava quantas notas ainda restavam para finalizar a frase. A resposta deveria ser dada somente quando o contador chegasse no “0”.

O autor conclui que o experimento demonstrou a validade do método para predição de estabilidade de hierarquia tonal, sendo que os graus I, III e V apresentaram tempo de resposta de reação menores do que os graus restantes da escala.

Marmel, Tillmann e Dowling (2008) realizaram experimento onde melodias foram apresentadas aos participantes com suas últimas notas “afinadas” ou com alteração de frequência de 35 cents³⁵ para cima. Foram criados seis pares de melodias. As melodias tinham o IV grau da escala alterado entre elas, de forma a alterar sua tonalidade. Uma melodia, por exemplo, escrita em Sol Maior tinha como par complementar a própria melodia com o IV grau sustenizado, passando a caracterizar-se como uma melodia em Ré Maior. A última nota apresentada (e a ser avaliada) era sempre a tônica da melodia original, de forma que, quando da alteração do IV grau, passava a soar como subdominante criando-se assim dois diferentes contextos, “relacionado” (melodia original com a nota final soando como tônica) e “menos relacionado” (melodia derivada, com a última nota soando como subdominante). A tarefa do participante era, então, julgar se a última nota apresentada estava “afinada” ou “desafinada”, apertando um botão do teclado do computador o mais rápido e acuradamente possível. Os resultados mostraram que as notas afinadas, foram processadas mais rapidamente quando apresentadas no contexto relacionado, do que quando apresentada no contexto menos relacionado. O resultado está de acordo com a teoria de estabilidade de hierarquia tonal; a nota mais esperada (tônica) foi processada mais rapidamente que a nota menos esperada (subdominante).

Marmel e Tillman (2009), realizaram um estudo envolvendo dois experimentos. Para os experimentos, foram criadas aos pares, melodias de dois compassos de duração com alteração de uma única nota, no primeiro compasso, que alterava a tonalidade das melodias. Como a nota de finalização era mantida

35 “Cent” é uma subdivisão-padrão que divide o semiton da escala temperada em 100 partes iguais. Embora a subdivisão não tenha aplicação prática na música, é, geralmente, usada para expressar pequenas variações de frequência, variação de entonação e o grau de desafinação de notas ou intervalos (Roederer, 1998).

enquanto a tonalidade era alterada, em uma das tonalidades tinha sempre função de mediante (III grau da escala), enquanto no par alterado, função de sensível (VII grau da escala), sendo consideradas, respectivamente, relacionadas e menos relacionadas. No experimento 1 a e 1 b, a tarefa do participante era julgar o timbre do estímulo alvo o mais rápido e acuradamente possível. No experimento 2, os participantes deveriam julgar se a nota de finalização estava afinada ou desafinada³⁶. De um modo geral, observou-se facilitação de processamento nos contextos considerados mais estáveis (mediante) com relação aos contextos menos estáveis (sensível). Os autores consideram que os resultados mostram que o efeito de *priming* é efetivo não só para pares de graus tonais incluindo a tônica, além de enfatizar um caráter sutil do conhecimento tonal de sujeitos não especializados.

Marmel, Tillmann, e Delbé (2010) realizaram um estudo com dois experimentos. Os estímulos foram melodias criadas especificamente para o experimento, manipulando-se os contextos tonais, tal qual em Marmel et al.(2008) e Marmel e Tillmann (2009), formando contextos relacionados (com nota alvo com função de tônica) e menos relacionados (com nota alvo com função subdominante). Em ambos os experimentos, a tarefa dos participantes era de identificar os timbres da nota de finalização das melodias pressionando um de dois botões o mais rápido e acuradamente possível. Os experimentos diferenciaram-se pelos timbres utilizados para os alvos e pela interface de respostas.

Em ambos os estudos houve facilitação de identificação nos contextos relacionados sobre os contextos menos relacionados. Segundo os autores, os resultados evidenciam fortemente a influência do conhecimento tonal no processamento musical.

36 As frequências das notas desafinadas sofriam alteração de 35 cents para cima.

Tabela 2: Autor, tipo de experimento e estímulo de experimentos em expectativa musical realizados com utilização de tomada de tempo de reação

Autor	Tipo	Estímulo
Bharucha e Stoecking (1986)	Priming/ Harmônico	Tríades maiores e menores – Cada nota foi formada pelos 4 primeiros harmônicos com mesma amplitude
Bharucha e Stoecking (1987)	Priming/ Harmônico	Tríades - cada nota formada por quinze harmônicos de igual amplitude
Janata e Reisberg (1988)	Priming Melódico/ Harmônico	Acordes e escalas – Ondas quadradas atenuada em 12dB/ oitava, iniciando em 6Khz. Rampa 0 a 2ms até amplitude máx e de 2 a 750ms até 0.
Frankland e Cohen (1990)	Priming melódico	Escalas construídas com sons senoidais. Cada nota da escala teve duração de 175ms, com 75ms de intervalo entre as notas.
Ranvaud et. al (2001)	Priming melódico	1. Escalas e arpejos construídas com sons senoidais, com 150ms de duração e 25ms de rampa de amplitude nas extremidades. 2, 3, 4 e 5 - Escala construída com sons de “piano Roland”. Cada nota teve duração de 350ms.
Aarden (2003)	Priming melódico	Melodias “sampleadas”, retiradas da “Essen Folksong Collection” executadas com colcheia = 500ms. Foram usadas 82 melodias terminadas com os sete graus da escala diatônica.
Marmel et al. (2008)	Priming melódico	Melodias compostas para o experimento, utilizando som de piano sintetizado.
Marmel e Tillmann (2009)	melódico	1a. Melodias criadas para o experimento usando som sintetizado de piano e harpa 1b. Melodias criadas para o experimento usando som sintetizado de flauta (prime) e oboé e clarinete (alvo) 2. Melodias criadas para o experimento com som sintetizado de Piano.

Continua

conclusão

Autor	Tipo	Estímulo
Marmel et al. (2010)	melódico	<p>1. Melodias criadas para o experimento usando som sintetizado de piano. Foi utilizado o som original para o prime. O som do alvo recebeu tratamento de brilho (Timbre A) e atenuação por filtro passa baixas (Timbre B).</p> <p>2. Sons senoidais (prime).</p> <p>Para o alvo, foram usados som senoidal (Timbre A) e a soma do som senoidal com um som senoidal com o dobro da sua frequência (Timbre B). A amplitude foi ajustada em 35% da amplitude do som puro para equalização de sensação de volume³⁷.</p>

Tabela 3: Autor, expertise e equipamento utilizado em experimentos em expectativa musical realizados com utilização de tomada de tempo de reação

Autor	Expertise dos participantes	Interface
Bharucha e Stoecking (1986)	<p>1. (N=33) mín. 5 anos de experiência</p> <p>2. (N=20) 0 a 11 anos de experiência</p> <p>3. (N=15) 0 a 20 anos de experiência</p>	Teclado do computador
Bharucha e Stoecking (1987)	<p>1. (N=33) 0 a 9 anos de “instrução instrumental”</p> <p>2. (N=15) 0 a 17 anos de “instrução instrumental”</p>	Teclado do computador
Janata e Reisberg (1988)	<p>9 reportaram tocar algum instrumento ou cantar. Os restantes - 2 teclas, mascaradas reportaram “já haver tocado em algum por Y e N. momento da vida”.</p>	Teclado do computador
Frankland e Cohen (1990)	<p>(N=63) 0 a 29 anos de prática instrumental</p>	Teclado de computador- 2 teclas

continua

³⁷ Os autores declararam que o ajuste à 35% “elicitou nível subjetivo de volume similar para os três autores (Mermel et. al., 2010 p.1023).

conclusão

Autor	Expertise dos participantes	Interface
Ranvaud et al. (2001)	1. (N=14) com no mínimo 3 anos de treino musical 2 e 3 (N=28) 0 a >10 anos de treino musical (exp. 2) e 0 a 10 anos (exp. 3) 4 e 5 (N=28) 0 a >10 (exp. 2) e 0 a 10 (exp. 3) ³⁸	1. Botão de um <i>joystick</i> . 2,3,4 e 5 – Teclado do computador.
Aarden (2003)	(N=16) – Estudantes do segundo ano de graduação em música	Teclado do computador
Marmel, Tillmann & Dowling (2008)	2. (N=20) 0 a 10 anos de instrução musical	Teclado do computador
Marmel e Tillmann (2009)	1a – (N=23), sendo 12 considerados “moderadamente experientes” e 11 considerados “menos experientes” em música. 1b – (N=33), sendo 16 considerados “moderadamente experientes” e 17 considerados menos experientes em música. 2. (N=28), sendo 12 considerados “moderadamente experientes” e o restante, sem experiência musical.	Teclado do computador
Marmel et al., (2010)	1. (N=22) 0 a 13 anos de instrução instrumental 2. (N=38) 0 a 15 anos de instrução instrumental	1. Psyscope button box 2. Teclado do computador

1.8. Considerações gerais acerca do estudo

As ideias de Meyer (1956), mesmo que de forma tácita, ainda balizam grande parte dos estudos em expectativa musical, assim como a teoria da estabilidade de

³⁸ A informação acerca dos participantes dos experimentos 4 e 5 é descrita no artigo como 2 e 3. Não há, dessa forma, como saber se a natureza do equívoco é somente em relação à numeração ou se os dados estão, de fato, incorretos.

hierarquia tonal, nesse sentido, continua a ser uma referência essencial em expectativa musical.

O teste que dá origem à teoria da hierarquia tonal (Krumhansl & Shepard, 1979), ao apresentar uma escala maior incompleta, direciona fortemente a atenção do participante para a nota de finalização da escala. Uma vez que como finalização da escala são apresentadas todas as notas da escala cromática, tem-se, no conjunto das apresentações, a violação de expectativa representada em toda sua gama dentro do sistema analisado. A violação de expectativa, por sua vez, é elemento fulcral da hipótese formulada por Meyer (1956) estando na base da emergência de emoção e significado.

Uma vez que tem-se o modelo de Krumhansl e Shepard (1979) como um modelo bem estabelecido em seus propósitos, vislumbra-se, a partir dele, em primeiro lugar, a perspectiva de testar a hipótese de Meyer (1956). Uma vez que o modelo proporciona a violação de expectativa melódica nos seus mais diversos graus, é razoável esperar que, caso a hipótese esteja correta, encontre-se componentes emocionais que variem de forma correlata aos devidos graus de violação.

Em segundo lugar, embora o tempo de reação tenha sido usado, nas últimas décadas, como ferramenta em estudos de expectativa melódica e harmônica, a única reprodução do experimento de Krumhansl e Shepard (1979), de fato, encontrada na literatura, adaptada ao método, foi a de Frankland e Cohen (1990) que, embora aponte para a validação do método, apresenta resultados pouco contundentes, como já mencionado. O estudo de Aarden (2003), embora apresente resultados que se alinhem melhor aos resultados de Krumhansl e Shepard (1979), utiliza um desenho experimental muito diferente do original, além de utilizar exclusivamente participantes especializados, o que impossibilita a avaliação de parte importante do modelo, que tem em sua base a apreensão implícita das regras do sistema musical. Entende-se assim que a utilização do modelo de Krumhansl e Shepard (1979) adaptada às necessidades das devidas investigações, mantendo,

entretanto, sua estrutura essencial, seja uma forma eficaz de investigar a validade do método de tempo de reação em expectativa melódica.

Finalmente, buscou-se investigar o próprio modelo, permeando a discussão corrente acerca dos mecanismos subjacentes à expectativa harmônica e melódica, sejam: sensorial (ligado à memória de curto prazo) e cognitivo (ligado a memória de longo prazo, pressuposto na teoria da estabilidade de hierarquia tonal).

2. OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo central a investigação de elementos da expectativa melódica.

Em primeiro lugar, buscou-se investigar se diferentes graus de violação de expectativa em contexto tonal idealizado, são passíveis de medição por alterações de potenciais eletrodérmicos e traduzíveis em variações de tempos de reação de resposta.

Verificou-se que os estudos que investigam expectativa musical utilizando tempo de reação encontrados na literatura utilizam desenhos experimentais diversos, apresentando resultados pontuais e muitas vezes controversos, que dificultam a tarefa de síntese necessária à compreensão de fatores mais amplos. Outrossim, verificou-se que a maioria dos estudos não levam em conta características físico-acústicas dos estímulos utilizados e, sobretudo, nenhum dos estudos analisados considerou a intensidade sonora como parâmetro de influência em relação aos tempos de reação. A literatura, no entanto, mostra que a sensação de volume altera respostas de tempo de reação, sendo esse um fator individual e involuntário do ponto de vista do sujeito experimental.

A segunda fase do estudo, dessa forma, buscou aprimorar o desenho experimental, criando um método que permitiu controle individual de volume e, portanto, isolá-lo como fator de influência no estudo.

Foram, então, desenhados dois experimentos, com objetivos de verificar (1) a correlação entre o tempo de reação de respostas e a violação de expectativas em contexto tonal idealizado e (2) verificar a efetiva influência do contexto tonal idealizado nas respostas espontâneas dos participantes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Desenho experimental

Utilizando a ideia da utilização de um galvanômetro para medição de tempo criada por Claude Pouillet, Helmholtz efetuará medidas, que, segundo Marx (1969, p.16 citado por Debru, 2001 p.472)” teriam produzido o primeiro novo dado na fisiologia do nervo desde a antiguidade”. A técnica, assim como a maioria das utilizadas para medição de pequenos intervalos de tempo no século XIX, foi desenvolvida no contexto da pesquisa militar, por exemplo, para medição da velocidade de projéteis (Schmidgen, 2002).

Figura 5: Utilização do galvanômetro para medição de pequenos intervalos de tempo sugerida por Claude Pouillet em 1844. A deflexão da agulha de um galvanômetro servia para inferência do tempo durante o qual havia passagem de corrente elétrica. No desenho (A) o disparo do rifle fecha o circuito provocando fluxo de corrente elétrica. O fluxo é interrompido pela secção do fio pela saída do projétil na ponta do rifle. Com o surgimento da tecnologia do telégrafo ao final dos anos 1830, o eletromagnetismo passou a ter papel importante nesse tipo de medida de precisão. Helmholtz, ao final dos anos 1840, adotou a técnica de Pouillet para a medição da velocidade de propagação de estímulos elétricos em nervos de rã. A reconstrução do aparato é mostrada em (B). A montagem combina dois circuitos elétricos: um no qual a corrente da bateria R passando através dos indutores L_1 e L_2 pode estimular o músculo M/N. O outro circuito é formado pela conexão entre a bateria Z e o galvanômetro T. A chave S/P liga ambos os circuitos, simultaneamente. Com a chave ligada, a corrente elétrica flui pelo nervo, contraindo-o. A contração age sobre os componentes do quadro A, desligando o circuito. Posicionando os eletrodo em diferentes porções do nervo, Helmholtz pôde deduzir a velocidade de propagação do estímulo (Schmidgen, 2002 p.143).

A adaptação e refinamento de técnicas e instrumentos é recorrente na história da ciência, sendo parte indissociável da investigação experimental.

Holmes e Olesko (1993 p.52 citado por Debru 2001 p.472-3) sublinham que Helmholtz modificou a condição da fisiologia experimental devido sua preocupação com a acurácia das medidas.

Até o século XIX, chama atenção a farta pictografia de caráter descritivo encontrada no corpo das descrições e publicações experimentais nas mais diversas

áreas da ciência. Embora o formato atual de publicações ainda guarde espaço para a descrição do aparato experimental, determinadas padronizações e pressupostos empobrecem a descrição, tonando-a por vezes insuficiente, uma vez que o protocolo experimental é determinante com relação aos resultados de qualquer tipo de pesquisa.

A questão da acurácia ainda nos dias de hoje, com a utilização e desenvolvimento de computadores cada vez mais rápidos e com maior capacidade armazenamento, continua sendo problemática (Plant, 2015; Plant & Turner, 2009), uma vez que, tanto hardware como software podem introduzir variabilidade adicional em medidas temporais (Plant & Turner, 2009).

A progressão de erros, no entanto, é negligenciada quando não se dá atenção a aspectos específicos, ligados à utilização do computador como ferramenta.

Plant e Turner (2009, p.598) equacionam os fatores passíveis introdução de variabilidade temporal:

Tempo real = Tempo medido – (erro devido à características de paradigma + Erros de equipamento)

Onde o termo “(erro devido à características de paradigma + Erros de equipamento)” engloba os seguintes itens:

1. Características temporais de *hardware* (Ex. Latência de inicialização de placa de áudio, latência de resposta de dispositivos, latência de dispositivos de apresentação)
2. Problemas e interações do *driver* de dispositivos (*drivers* que não funcionam de acordo com as especificações do fabricante, *drivers* lentos, *drivers* que relatam tempos incorretos)
3. Erros de *script* (codificação deficiente, codificação incorreta, erros humanos)
4. Efeitos devido à variabilidade de operação do sistema (*bugs* no sistema operacional, *CPUs multicore*, sistemas de operação multitarefas)
5. Tipo de estímulo escolhido (Apresentação de vídeo, apresentação visual serial rápida, áudio de alta resolução)

6. Interações com outros *softwares* (antivírus, verificadores, pacotes de *spyware*, aplicações *hardwares* “auxiliares”)
7. Ferramentas usadas para construção de paradigma (*bugs* no pacotes geradores de experimento, problemas com preparação de estímulo como construção incorreta de áudio e vídeo)
8. Interações com outro *hardware* (sincronismo em hardware em paradigmas como fMRI, magnetoencefalografia, *eyetracking*, psicoacústica, psicofísica)
9. Ajuste de configurações e níveis (luminância, volume, limites de cruzamento nos registros vocais)
10. Outros fatores não identificados ou interações entre os anteriores.

Os aspectos técnicos, são, de fato, determinantes para viabilização de um projeto experimental. A definição desses aspectos, no entanto, passa por instâncias mais amplas. Helmholtz define quatro aspectos que devem ser considerados com relação ao problema da acurácia: “(1) aspectos técnicos (instrumentos de medição); (2) aspectos fisiológicos (o material, nervos e músculos usados em experimentos fisiológicos); (3) aspectos psicológicos (*personal equation*) e (4) aspectos epistemológicos (cálculo de erros)” (Debru, 2001 p. 473).

Os parâmetros sublinhados por Helmholtz serão, a seguir, adaptados para guiar a apresentação e discussão dos desenhos experimentais utilizados no presente trabalho da seguinte forma: (1) aspectos técnicos, (2) definição de amostra (3) aspectos psicofísicos e (4) Tratamento dos dados.

Os experimentos foram realizados no presente estudo em duas fases distintas, de forma que a análise acerca dos resultados e eventuais dificuldades encontradas na realização do primeiro experimento, foram utilizadas como referência para refinamento dos experimentos seguintes.

O desenho do experimento 1 foi uma adaptação do desenho experimental utilizado por Krumhansl e Shepard (1979). A ideia central foi a da reprodução literal do experimento acrescentando novos parâmetros (GSR³⁹ e TR⁴⁰) visando investigar

39 Do inglês: Galvanic Skin response

40 Tempo de Reação

a correlação destes com as avaliações espontâneas utilizadas no experimento original.

A elaboração do desenho, dessa forma, foi pautada pela adaptação do experimento original para que fosse realizado com uso do computador. Utilizou-se, assim, MATLAB para reproduzir o desenho de Krumnhansl e Shepard (1979) e acrescentar a leitura da resistência galvânica da pele⁴¹ e tomada de tempo de reação.

A elaboração dos experimentos 2 e 3 foi pensada, não só para a produção de dados confiáveis com relação aos elementos investigados na pesquisa, mas como possível modelo, com implementações e correções de fatores observados no decorrer da pesquisa, passível de servir de base para outros experimentos que necessitem utilizar estímulos sonoros em seus desenhos experimentais. Assim, a descrição se dará, fundamentalmente, em relação aos experimentos 2 e 3. O experimento 1, no entanto, será citado, por vezes, essencialmente, como referência.

3.2. Aspectos técnicos

3.2.1. Software

Os experimentos 2 e 3 foram integralmente elaborados em Pure Data (Pd).

Pure Data é um ambiente de programação gráfica de código aberto, originalmente desenvolvido pelo engenheiro Miller Puckette, co-desenvolvedor do software Max/Msp. O Pd trabalha com funções algorítmicas representadas por “caixas” (Figura 6) chamadas de “objetos” e funciona em computadores pessoais,

⁴¹ O registro de GSR foi feito com utilização do Biopac MP36 e computador dedicado. O equipamento, no entanto, deveria trabalhar de forma sincronizada à apresentação dos estímulos, tarefa implementada no desenho em MATLAB.

telefones inteligentes e *Raspberry Pi*⁴². É usado para gerar e processar som, vídeo, imagens 2 e 3D, além de gerenciar sensores, dispositivos de entrada e MIDI⁴³.

A escolha do Pd se deu, em primeiro lugar, pela facilidade de gerar e tratar sons em todos os parâmetros necessários e apresentá-lo de acordo com o desenho experimental definido. Outrossim, o fato de ser um software de código aberto permite sua instalação em vários computadores, sem custos ou necessidades de licenças específicas, flexibilizando tanto desenvolvimento como a coleta de dados.

A documentação completa dos desenhos experimentais desenvolvidos pode ser vista nos apêndices A, B e C.

Figura 6: Exemplo de geração de onda senoidal em Pd. No exemplo, o objeto [osc~] gera uma onda senoidal com frequência estabelecida pelo parâmetro da caixa conectada à sua entrada esquerda. O objeto [*~] controla a intensidade por meio do parâmetro inserido na caixa ligada à sua entrada direita. O objeto [dac~] converte os parâmetros digitais em sinal analógico e os envia para saída.

3.2.2. Interface

42 *Raspberry Pi* é um computador de dimensões reduzidas e baixo custo criado pela Fundação *Raspberry Pi* com finalidade educacional.

43 MIDI é um padrão de conexão física, derivado de “Musical Instrument Digital Interface”, utilizado para conexão em tempo real com instrumentos eletrônicos.

No experimento 1, os participantes deveriam avaliar os *probe tones*, atribuindo notas de 1 a 7. Utilizou-se, assim, o teclado do computador como interface. A Tabela 3 mostra que, dos 19 experimentos analisados, 17 utilizaram o teclado como interface, um usou *joystick* e apenas um usou uma caixa de respostas comercial.

A utilização de periféricos de uso geral no entanto é uma fonte comum de incremento de erro em experimentos de medidas temporais. Plant, Hammond, e Whitehouse, (2003) detectaram grandes variabilidades de respostas em mouses e teclados no início dos anos 2000, problema cuja evolução tecnológica não suplantou. Segundo Plant, (2015) e Schubert, D'Ausilio, e Canto, (2013), tais periféricos continuam sendo causa de perda de acurácia nos dias de hoje

Embora argumente-se que a variabilidade nesses casos possa ser corrigida por meio de ferramentas estatísticas ou aumentando-se o número de medições (Ulrich e Giray, 1989), sabe-se que o incremento de precisão pode aumentar o poder de teste com diminuição do tamanho da amostra (Schubert et al., 2013), o que é muito desejado em experimentos como os desenvolvidos no presente estudo, onde há que se medir flutuações sutis de tempos de reação e utiliza-se participantes especializados, dificultando o incremento da amostra.

Experimentos que necessitam de maior precisão nas tomadas de dados têm como opção caixas de respostas desenvolvidas por empresas especializadas. As caixas de resposta demonstram boa precisão em testes empíricos (Plant et al., 2003) mas, geralmente têm alto custo e são pouco flexíveis (Schubert et al., 2013).

D'Ausilio, 2012 sugere que a utilização da placa de prototipagem eletrônica “arduino”, possa ser uma saída precisa e de baixo custo para o desenvolvimento de sistemas para medidas utilizadas pela psicologia e neurofisiologia enquanto que Schubert et al. (2013) mostram empiricamente que o arduino é capaz de produzir

variabilidade similar às encontradas nas caixas de respostas comerciais, e ainda, menores dos que as de um teclado de computador.

Optou-se assim, no experimento 2, pela construção de uma interface de dois botões mediadas pelo arduino⁴⁴ (Figura 7).

Arduino, segundo o site oficial, é “uma plataforma eletrônica de código aberto (*hardware* e *software*) baseada em *hardware* e *software* de fácil uso”. Segundo McRoberts (2011, p.22):

Em termos práticos, um Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de *hardware* e *software*.

Figura 7: Arduino modelo nano V3.0 utilizado na montagem experimental. Dois resistores de “pull-down” são utilizados para evitar flutuações de tensão e consequentes “falsos acionamentos”.

Tal qual o Pure Data, o arduino também tem código aberto, garantindo flexibilidade a todo o sistema. Ainda, o Pd oferece uma biblioteca (chamada Pduino)

44 Na montagem experimental utilizou o arduino modelo nano V3.0

que, juntamente com o protocolo “firmata”, possibilita a comunicação entre os sistemas.

Alguns problemas relatados e analisados no experimento 1, balizaram a solução para parte física da interface para os experimentos 2 e 3. No experimento 1, embora, os participantes fossem instruídos a não tirar a mão do teclado, notou-se que a posição era pouco confortável e, invariavelmente, os participantes, em função da fadiga, realizavam alguns movimentos de extensão das mãos e dedos durante o curso do experimento, o que poderia influenciar no tempo de reação das respostas subsequentes ao movimento. Os participantes relataram ainda certa dificuldade em encontrar a tecla correta, já as avaliações variavam de 1 a 7 e, por fim, notou-se que as teclas do teclado utilizado (um teclado de *desktop*) tinham um curso relativamente grande até a efetiva ativação, de forma que pressões diferentes nas mesmas teclas poderiam gerar tempo de ativação diferentes, interferindo na tomada de tempo de respostas.

Optou-se então pela adaptação de um apontador mouse por (1) ser ergonomicamente eficaz, uma vez que a mão repousa confortavelmente sobre ele, evitando movimentações indesejadas e (2) pelos botões serem ativados facilmente, com muito pouco pressão, atenuando o problema da variabilidade em função do curso interno do botão para ativação dos contatos.

Um apontador mouse foi modificado de forma a eliminar a ação do seu circuito eletrônico e utilizar-se somente seus interruptores para acionamento do arduino (Figura 8). A interface montada pode ser vista na Figura 28.

Figura 8: Modificação do apontador mouse para utilização com arduino. Os fios foram retirados da sua posição original (foto da esquerda) e ressoldados de forma a eliminar o circuito eletrônico original (foto da direita). Somente os interruptores foram utilizados para ligação com o arduino.

3.3. Amostra

Um dos fatores de interesse do presente estudo era saber se o expertise musical tinha influência sobre os parâmetros analisados nos experimentos. Assim partiu-se da premissa que a amostra de ambos os experimentos deveria conter “músicos” e “não-músicos”. A definição dos critérios para classificação de “músico”, no entanto, é problemática e muitas vezes arbitrária. Nos trabalhos analisados na Tabela 3 observa-se, para caracterização das amostras, termos como: “0 a ‘X’ anos de experiência musical” ou “0 a ‘X’ anos de treino instrumental”, ou “reportaram tocar algum instrumento ou cantar a ‘X’ anos”.

No entanto, como já explanado nas considerações iniciais, o termo “músico” envolve um universo extremamente amplo, tonando-o pouco significativo para a finalidade em questão, assim como as expressões utilizadas para caracterização da amostra dos experimentos analisados pouco têm à dizer acerca da capacidade dos participantes em relação às tarefas propostas.

Em alguns casos, utilizam-se testes que precedem o experimento para garantir que os participantes são capazes de realizar a tarefa. Embora esse procedimento seja útil e muitas vezes necessário, têm o inconveniente, primeiro, de aumentar o tempo do experimento como um todo, aumentando o risco de fadiga do participante, e, segundo, de gerar constrangimento ao colocar o participante em condição de avaliação. O presente estudo, por outro lado, não apresentou tarefas que exigissem conhecimentos musicais específicos. O objetivo era investigar possíveis diferenças em respostas comportamentais e fisiológicas de participantes com expertise musical em relação à participantes sem conhecimento musical em tarefas que ambos poderiam realizar.

Assim, optou-se por dividir os grupos, após a análise dos perfis de avaliação, por afinidade entre os perfis de respostas. Os questionários foram, então, utilizados para a caracterização da amostra após a separação dos grupos por meio de análise de matriz de correlações. O método já havia sido utilizado por Krumhansl e Shepard (1979) (e replicado por Frankland e Cohen (1990)), com objetivo de dar suporte à divisão subjetiva de grupos previamente realizada mostrando-se eficaz.

3.3.1. Audição e lateralidade

No experimento 1, a lateralidade foi definida por meio do questionário de avaliação geral no qual o participante declarou ser destro ou canhoto. A partir da informação, os eletrodos foram posicionados para medida de GSR na mão não predominante, enquanto que a mão predominante foi utilizada para realizar a tarefa no teclado do computador. Nos experimentos 2 e 3, somente uma das mãos era utilizada. Optou-se, pela utilização do questionário de Edinburgh (Anexo C) para uma avaliação mais completa. Entretanto, a caixa de respostas utilizada foi construída com a utilização de uma carcaça de mouse, dispositivo utilizado cotidianamente pela maioria das pessoas. Apenas dois participantes eram canhotos, e ambos pediram para utilizar o “mouse” do lado direito por já estarem acostumados. Não se entendeu, no entanto, que a disposição possa ter causado algum tipo de distorção nos dados desses participantes.

Assim como no caso da lateralidade, no experimento 1, confiou-se no questionário de avaliação geral para garantir a audição dos participantes, que declaravam não ter qualquer tipo de problema auditivo. Embora o método seja, provavelmente, o mais utilizado em trabalhos na área de cognição musical, não garante que o participante esteja apto a realizar a tarefa⁴⁵, visto que perdas ou deficiências auditivas poderiam influenciar diretamente nos resultados. Ocorre que, mesmo confiando-se que o participante está respondendo rigorosamente ao questionário, o mesmo pode ter algum tipo de perda ainda não detectada. Para garantir que os participantes estavam aptos a responder aos estímulos apresentados nos experimentos 2 e 3, todos os participantes foram submetidos a

⁴⁵ No experimento 1 um participante, embora tenha preenchido o questionário afirmando não ter problemas auditivos, relatou informalmente após o experimento ter perda auditiva em uma das orelhas, mas que havia julgado não haver problemas para a realização da tarefa experimental. O participante foi excluído da análise.

avaliação audiológica, realizando audiometria tonal para a faixa compreendendo frequências de 125 a 8000Hz.

3.4. Aspectos psicofísicos

3.4.1. Características físico-acústicas dos estímulos

Os estímulos utilizados no experimento 1 foram a reprodução dos utilizados no experimento de Krumhansl e Shepard (1979). Após a análise de dados do experimento1 e dos experimentos listados nas tabelas 2 e 3 verificou-se a necessidade de realização de alterações de características dos estímulos com o intuito de diminuição de interferentes. Em primeiro lugar, notou-se que a maior parte dos experimentos relacionados à expectativa musical não levou em conta as características físico-acústicas dos estímulos. Dos 19 experimentos listados na Tabela 3, dois utilizaram sons senoidais, oito relataram algum tipo de tratamento com relação ao espectro (embora somente Bharucha e Stoeckig (1986, 1987) tenham, de fato, controlado conteúdo espectral) e nove utilizaram sons sintetizados, sem qualquer controle sobre o espectro. Somente um relatou algum tratamento para intensidade, sem levar em conta, entretanto, a dependência com relação à frequência.

Sabe-se, entretanto, que a sensação de volume é fortemente dependente de frequência e intensidade (Suzuki & Takeshima, 2004), assim como é bem estabelecido pela psicofísica que os tempos de reação relacionam-se fortemente

com a sensação de volume (Pfingst; Hienz; Kimm & Miller, 1975; Schlittenlacher & Ellermeier, 2015). Diversos estudos têm utilizado a tomada de tempo de reação como base para determinação de curvas de volume igual, uma vez que, sons de igual volume correlacionam-se a latências iguais, para humanos e também para animais (Florentine & Florentine, 2014; Kohfeld, Santee, & Wallace, 1981; May, Little, & Saylor, 2009; Mulsow & Finneran, 2013; Pfingst et al., 1975; Stebbins, 1966)

Uma curva de igual volume é uma curva que liga os níveis de pressão sonora com igual volume como uma função de frequência (Suzuki; Takeshima; Ozawa; Kumagai & Sone, 2000). Fletcher & Munson (1933) foram os primeiros a estabelecer um conjunto completo de curvas de volume igual. O estudo foi sucedido por diversos outros, até as curvas medidas por Robinson e Dadson⁴⁶ terem sido adotadas como padrão internacional para sons puros em campo aberto⁴⁷ (ISO/R 226, 1991, ISO 226, 1987) (Suzuki & Takeshima, 2004). Em 2003 uma nova norma foi produzida por um grupo internacional de pesquisadores, dando origem à norma atual⁴⁸: ISO 226:2003 (Parmanen, 2012). As curvas estabelecidas pela norma podem ser vistas na figura 9.

46 Referente à publicação: Robinson, D. W., and Dadson, R. S. (1956). "A re-determination of the equal-loudness relations for pure tones," Br. J. Appl. Phys. 7, 166–181.

47 A norma ISO 226:2003 (2003 p.1) define campo aberto sonoro como "Campo sonoro onde os limites da sala exercem um efeito insignificante sobre as ondas sonoras".

48 Segundo o site oficial da International Organization for Standardization (ISO), a norma foi revisada em 2014 mantendo-se vigente até o momento da escrita do presente trabalho.

Figura 9: Curvas de volume igual para sons puros em campo sonoro aberto. O limiar auditivo para campo aberto é mostrado pela linha tracejada. A curva de 10 fons é mostrada em linha pontilhada em função da perda de dados experimentais entre 20 fons e o limiar auditivo. A curva de 100 fons é também mostrada em linha pontilhada porque só haviam dados de um único instituto para construção da curva (International Standardization Organization, 2003)

Com base na literatura, entendeu-se, assim, ser essencial o controle tanto sobre espectro como sobre volume dos estímulos utilizados. A utilização dos sons senoidais, eliminando qualquer possível interferência por componentes espectrais já havia sido utilizada no experimento 1 e, dessa forma, foi mantida. Observou-se que, para faixa de frequências utilizada no experimento, a diferença de pressão sonora à 80 fons, segundo a curva determinada para campo aberto, chegava próximo de 10 dB NPS⁴⁹. Soma-se à dependência entre volume e frequência (e, em consequência, à dependência entre tempo de reação e volume), as eventuais distorções causadas pelo equipamento de reprodução sonora, incluindo os fones de ouvido, e as próprias

⁴⁹ As curvas para campo aberto foram utilizadas somente como referência para discussão, uma vez que os estímulos foram apresentados com utilização de fones de ouvido que, por sua vez, apresenta distorções que devem também ser corrigidas.

características auditivas individuais dos participantes. Uma primeira solução possível, seria ajustar, individualmente, o nível de volume para cada estímulo de acordo com a curva determinada pelo audiograma, em dB NS, a partir de curvas normatizadas para fones de ouvido. As curvas de resposta para o fone de ouvidos utilizado, entretanto, eram desconhecidas, impossibilitando a equalização. A solução encontrada, dessa forma, foi a determinação individual da curva de volume igual para cada um dos participantes utilizando o mesmo equipamento que seria utilizado para as tarefas experimentais. Delineou-se, então, uma tarefa de equalização de volumes que foi realizada antes do início dos experimentos e que determinou a correção necessária para cada frequência utilizada, para cada um dos participantes. A descrição do sistema e processo utilizado para determinação das curvas individuais é descrita a seguir. O patch⁵⁰ desenvolvido para a determinação pode ser visto no Apêndice A.

3.4.2. Determinação das curvas individuais de igual volume

Um patch em Pd foi desenvolvido especificamente para a determinação das curvas individuais. Para cada participante foram apresentados 10 sons com diferentes frequências, com intensidades inicialmente niveladas à 80 fons (Tabela 4), segundo a norma de contorno de volume igual ISO 226:2003 (Figura 10).

⁵⁰ São chamados de “patches” os módulos desenhados em Pd.

Tabela 4: Frequências e respectivos níveis de intensidade utilizados, inicialmente, na etapa de equalização individual de sensação de volumes

80 fons	
Frequência (Hz)	Nível (dB NPS)
130,8	89,65
160	87,8
200	85,9
250	84,3
315	82,9
400	81,7
500	80,9
630	80,2
800	79,7
1046,4	80,26

Figura 10: Curva de volume igual para 80 fons, de acordo com norma ISO 226:2003, compreendendo as frequências 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000 e 1250Hz

Os estímulos sonoros utilizados foram todos senoidais com duração de 1000ms, antecidos por um estímulo sonoro senoidal com frequência de 1000 Hz (frequência de referência) com 1000ms de duração e nível de intensidade fixo à 80

dB NPS. O intervalo entre a apresentação do som de referência e do som a ser ajustado foi de 500ms. A intensidade de todos os sons apresentados teve incremento constante, partindo de 0 dB NPS até o nível definido de apresentação, nos primeiros 30ms e decréscimo constante, partindo do nível definido para apresentação, até 0 dB NPS, nos 30ms finais. As frequências utilizadas foram as mesmas avaliadas pela norma ISO 226:2003 dentro do intervalo utilizado nos experimentos, exceto pelas frequências máxima e mínima, que foram adaptadas de acordo com as frequências da escala temperada e as intensidades calculadas por meio da função spline cúbica⁵¹. O intervalo de frequências utilizados foi escolhido de forma a abarcar todas as frequências utilizadas nos experimentos. A tarefa do participante foi a de ajustar o nível de volume de cada frequência apresentada até obter a mesma sensação de volume da frequência de referência. O participante tinha à disposição um seletor com 11 níveis possíveis, com passo de 1dB NPS por nível, sendo que passos à esquerda decrementavam o nível em 1dB NPS e passos à direita incrementavam 1dB NPS (Figura 11). A cada vez que o seletor era acionado eram repetidos o som de referência (1000Hz; 80 dB NPS) e o som a ser ajustado, com intensidade de acordo com a seleção. Não foi estipulado tempo para realização da tarefa. O participante podia explorar o seletor, a cada tentativa, por quantas vezes entendesse necessário até encontrar o ajuste ideal. Ao encontrar o nível que julgasse ideal, deveria apertar a tecla “ok”. O nível selecionado era então registrado e uma mensagem na barra instruía o acionamento da seta para avaliação de um novo par de frequências. Cada frequência foi apresentada por seis vezes, aleatoriamente, totalizando 60 ajustes em toda a tarefa.

51 A ferramenta matemática utilizada foi a mesma utilizada por (Suzuki et al., 2000) e (Suzuki & Takeshima, 2004) para delineamento das curvas de volume igual a partir de um conjunto discreto de frequências avaliadas.

Spline é um método de interpolação polinomial, sendo as *splines* cúbicas as mais usadas “por serem funções suaves para o ajuste de dados e na interpolação não produzirem comportamentos com oscilações, o que frequentemente ocorre com as polinomiais interpoladoras de alto grau” (Sperandio, Teixeira & Monken e Silva, 2003 p. 160).

Segundo Burden e Faires (2008 p. 136): “A raiz da palavra *spline* é a mesma que da palavra tala (*splint*, em inglês). Originariamente, era uma pequena tira de madeira que podia ser usada para unir duas tábuas. Mais tarde, a palavra passou a ser usada para se referir a uma longa tira flexível, geralmente feita em metal, que podia ser usada para desenhar curvas contínuas lisas forçando a tira a passar por pontos específicos e desenhando ao longo da curva obtida”.

Figura 11: Tela inicial do patch para etapa de equalização individual de volumes. Cada seção do seletor incrementa ou decrementa o som a ser ajustado em 1 dB NPS. A cada seleção a frequência de referência é repetida (à 80 dB NPS), seguida da frequência a ser ajustada. A barra abaixo do seletor contém instruções de acordo com a etapa do processo corrente. A tecla "OK", registra o ajuste realizado e apresenta, automaticamente, um novo som à ser ajustado. A seta à direita da barra de instruções inicia a apresentação seguinte.

Ao final da tarefa, a curva de igual volume de cada sujeito era determinada pelo cálculo da mediana dos seis ajustes realizados para cada frequência. A partir do conjunto de frequências avaliadas, as frequências específicas utilizadas nos experimentos 2 e 3 eram ajustadas por meio da função spline cúbica, gerando curvas individuais de volume igual para cada um dos participantes. Os valores calculados em dB eram então carregados no patch de Pure Data para realização dos experimentos. A curva média determinada a partir das avaliações de 16 participantes pode ser vista na figura 12.

Figura 12: Curva média de volume igual determinada para o sistema utilizado nos experimentos 2 e 3. 16 participantes analisaram 10 diferentes frequências compreendendo a faixa de frequências utilizada nos experimentos. Os pontos intermediários foram determinados por função *spline* cúbica.

3.4.3. Características temporais dos estímulos e apresentação

A sessão completa de testes do experimento 1 teve duração de aproximadamente 50 min. Parte significativa dos participantes do experimento reportou algum tipo de fadiga após o cumprimento da tarefa. Assim, entendeu-se importante desenhar um experimento que cumprisse os objetivos no menor tempo possível. No experimento 1, cada nota da escala apresentada, assim como o *probe tone*, tinha 750 ms de duração. Frankland e Cohen (1990) utilizaram estímulos bem mais curtos, com 175 ms de duração, enquanto que Ranvaud et al. (2001) utilizaram

estímulos com duração de 150 ms. É conhecida, entretanto, a dependência entre a sensação de volume e a duração do estímulo para estímulos de pequenas durações.

Integração temporal - Um estímulo de 100ms, por exemplo, é ouvido com um volume menor do que um estímulo mais longo com a mesma amplitude (Florentine, Popper, & Fay, 2011). Esse efeito ocorre até um limite de duração chamada de “duração crítica”. Schlittenlacher e Ellermeier (2015) definem duração crítica como a duração após a qual o volume permanece constante. Segundo Florentine et. al. (2011 p.233), “o volume permanece constante para durações maiores que 200ms”. O processo subjacente ao incremento de volume até a duração crítica ser alcançada é chamado de integração temporal (Schlittenlacher & Ellermeier, 2015).

Uma vez que se tem como objetivo o controle sobre volume, a duração dos estímulos foi diminuída levando-se em consideração a integração temporal, sendo definidas, dessa forma, acima da duração crítica. A duração de cada nota no experimento 2 foi estabelecida em 250ms com 50ms de intervalo entre as notas da escala. A apresentação de cada prime, assim, teve duração de 2100ms.

A análise do experimento 1 mostrou que a diminuição de repetições não alterou significativamente os resultados encontrados. Foram feitas duas simulações, na primeira retirou-se o primeiro e o último bloco, e na segunda os dois primeiros e os dois últimos blocos. Em ambas as simulações, os perfis de avaliação e tempo de reação se mantiveram inalterados. Optou-se, assim, por segurança, por desenhar os experimentos 2 e 3 com 6 blocos.

Foreperiod – O paradigma de tempo de reação simples, inclui: (1) sinal de alerta, (2) *foreperiod*, (3) estímulo de reação, (4) a resposta e (5) o intervalo entre tentativas (Niemi & Näätänen, 1981). *Foreperiod* é o intervalo de tempo entre o início do sinal de alerta e o alvo (estímulo de reação), e é esse período ao qual se é atribuída preparação (Capizzi, Correa, Wojtowicz, & Rafal, 2015) e consequente formação de expectativas. Períodos fixos de *foreperiod* favorecem a estimativa do

momento de ocorrência do estímulo alvo, aumentando a chance de respostas antecipatórias. Outrossim, em experimentos que utilizam *foreperiod* diferentes, mas igualmente distribuídos, há ocorrência de “efeito sequencial”, ou seja, a duração da tentativa antecedente tem forte influência sobre o tempo de reação da tentativa subsequente (Capizzi et al., 2015). Quando, entretanto, o *foreperiod* varia tentativa à tentativa, a expectativa é muito mais fraca do que para *foreperiod* fixo (Thomaschke, Kiesel, & Hoffmann, 2011). Entendeu-se, assim, necessária a randomização do *foreperiod* a cada tentativa. No estudo 2 utilizou-se *foreperiod* com duração de 200, 300 e 400 ms e no experimento 3, 500, 750 e 1000 ms. As durações de *foreperiod* utilizadas em ambos os experimentos encontram-se em faixas estáveis com relação à influência no tempo de reação, segundo análise do estudo de Bueno (2011).

Apresentação dos estímulos – Visando evitar um efeito de expectativa similar ao do *foreperiod*, mas com relação à característica do estímulo, optou-se pela apresentação aleatória tanto dos contextos ascendente e descendente quanto dos *probe tones* dentro de cada bloco do experimento 2. No experimento 3 o *prime* era fixo. Os estímulos alvo, no entanto, foram apresentados de forma aleatória a cada tentativa.

3.5. Tratamento dos dados

Grande parte dos estudos que utilizam tempo de reação reportam limites de corte de tempo de resposta para definição de dados válidos sem entretanto apresentarem justificativa acerca da definição.

Mero e Komi (1990) encontraram tempo de reação definido como mínimo para resposta muscular de corredores a estímulo sonoro em torno de 120 ms,

enquanto que Pain e Hibbs (2007) demonstraram que o tempo de reação de resposta do componente fisiológico neuromuscular para estímulo sonoro encontra-se abaixo de 85 ms.

No experimento 1, em função do monitoramento eletrodérmico, havia uma janela temporal de aproximadamente 9s entre os estímulos, permitindo o registro de tempos de resposta com latências muito além das respostas “em menor tempo possível” solicitadas aos participantes.

A determinação do intervalo de valores considerados válidos foi realizada da seguinte forma: (1) Foram retirados tempos de reação abaixo de 100ms e (2) determinados o intervalo interquartis (IQ) e o terceiro quartil da distribuição de frequências (3Q). O limite de corte superior foi, então, determinado pela equação:

$$L_s = 3Q + (1,5 \times IQ)$$

sendo: IQ=916ms e 3Q=1513ms ; $L_s=2887ms$

Valores, então, acima de 2887ms foram considerados pontos soltos, portanto, eliminados. Os valores de tempo de reação considerados válidos foram estabelecidos pelo intervalo: $100ms < TR < 2887ms$

O limite inferior (100ms) foi adotado também para os experimentos 2 e 3. O limite superior foi, entretanto, arredondado para 3000ms⁵². Ambos os limites foram incorporados ao desenho experimental, de forma que respostas acima de 3000ms ou abaixo de 100ms não eram aceitas e o participante recebia como *feedback* a mensagem “não avaliado”.

Ainda que restrita à faixa possível de tempo de respostas, sabe-se que muitas vezes as respostas dos participantes não representam exatamente o menor tempo com maior acurácia possível. Uma vez que as medidas são repetidas em cada bloco, a adoção da mediana para contabilização das respostas de cada indivíduo

⁵² Visto que no experimento 1 a tarefa do participante era dar notas de 1 a 7, e no experimento 2 a tarefa só tinha duas opções, a janela temporal estabelecida encontra-se ainda muito acima do tempo de respostas médio esperado para a tarefa.

tende a eliminar o efeito de distorção das caudas das distribuições de tempos de reação (Pachella, 1973).

O perfil de avaliação de cada um dos participantes foi delineado pela média das respostas em ambos os experimentos. A partir do perfil de avaliação, os participantes foram agrupados por análise de agrupamento baseada na matriz de correlações dos perfis individuais. O perfil de cada grupo foi traçado utilizando-se a média dos perfis de avaliação de cada grupo e a média das medianas dos perfis de tempos de reação.

O perfil de cada grupo foi submetido à análise de variância para medidas repetidas um fator (ANOVA) com 26 células, utilizando um conjunto de 25 contrastes ortogonais desenhados para identificação das principais características investigadas no estudo: equivalência de oitavas, diferenças entre notas da escala diatônica e notas não-diatônicas e diferença entre os graus III e V da escala e as demais notas (hierarquia tonal). No experimento 3, os dados de acurácia foram submetidos à análise de variância.

4. Experimento 1

O objetivo do Experimento 1 foi, em primeiro lugar, verificar o padrão de preferência a notas de finalização de uma escala maior em indivíduos com diferentes experiências no âmbito musical. Para tal, buscou-se formar um conjunto de participantes que englobasse músicos, com variadas identidades e bagagens musicais e participantes sem conhecimento musical. Buscou-se ainda verificar, pautado nas teorias existentes acerca de expectativa melódica, se o atendimento ou não à expectativa formada a partir do estímulo inicial, em seus diversos graus, seria capaz de provocar repostas emocionais mensuráveis por meio do registro de variações de potenciais eletrodérmicos. Ainda, como complementação, mediu-se o tempo de reação das respostas dos participantes, com objetivo de verificar a existência de possível correspondência entre a latência de resposta e os demais parâmetros analisados.

Com relação às avaliações, esperava-se replicar os dados apresentados por Krumhansl e Shepard (1979) nos parâmetros: (1) equivalência de oitavas, (2) distância intervalar em relação à nota de finalização esperada e (3) hierarquia das funções tonais, ou seja, notas pertencentes à escala deveriam ter preferência às notas não pertencentes. Entre as notas pertencente à escala, os graus III e V (no contexto apresentado, notas Mi e Sol) deveriam ter preferência com relação às demais. Esperava-se, tal qual no experimento de origem, que os parâmetros analisados variassem, de acordo como expertise dos participantes.

Com relação às medidas de respostas galvânicas, esperava-se que o não atendimento às expectativas fosse detectado, em seus diversos graus, pela variação da resistência da pele, correlacionando-se com os três principais parâmetros analisados em relação à avaliação.

Com relação às medidas de tempo de reação, esperava-se encontrar correspondência em relação aos perfis de avaliação.

De modo geral, esperava-se encontrar correspondência entre os perfis de respostas dos participantes e as medidas de resposta galvânica da pele e tempo de reação, sendo as notas mais esperadas melhor avaliadas e apresentando respostas galvânicas e tempos de reação baixos, enquanto que notas menos esperadas tivessem menor avaliação e tempos de reação e respostas galvânicas maiores.

4.1. Participantes

Participaram 16 adultos com idades entre 22 e 51 anos sendo 8 do sexo feminino e 8 do sexo masculino. Os sujeitos declararam não possuir qualquer tipo de problema auditivo e não fazerem uso de medicamentos que atuam no sistema nervoso central. Os participantes não tinham conhecimento detalhado acerca do experimento e nenhum deles tinha experiência em tarefas psicofísicas. Foram somente informados de que se tratava de um experimento na área de cognição musical e que envolvia tarefas de classificação de estímulos auditivos. Ao aceitarem participar do estudo, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (Anexo A). Nenhum dos participantes reportou ter ouvido absoluto.

Após formação de agrupamentos baseada na matriz de correlações a partir dos padrões de avaliação foram obtidos dois grupos, sendo o grupo 1 (N=6) com três homens e três mulheres, com média etária $\bar{x}=32,8$ e $s=6,7$ anos (Tabela 5) e o grupo 2 (N=7) com cinco homens e duas mulheres, com média etária $\bar{x}=34,0$ e $s=10,9$ anos (Tabela 6). Três participantes apresentaram padrão anômalo de respostas não estabelecendo agrupamento entre si ou com outros grupos, ficando, portanto, fora da análise.

Tabela 5: Idade, sexo e expertise dos participantes do grupo1. Grupo 1 (N=6), formado por três participantes do sexo masculino e três participantes do sexo feminino. Média etária $\bar{x}=32,8$;s=6,7 anos.

Grupo 1			
Participante	Idade	Sexo	Músico/ Não-músico ⁵³
2	25	Masculino	Músico
3	32	Feminino	Músico
6	30	Masculino	Músico
15	34	Feminino	Não-músico
1	31	Feminino	Músico
5	45	Masculino	Músico

Tabela 6: Idade, sexo e expertise dos participantes do grupo 2. Grupo 2 (N=7), formado por cinco participantes do sexo masculino e dois participantes do sexo feminino. Média etária $\bar{x}=34,0$; s=10,9 anos.

Grupo 2			
Participante	Idade	Sexo	Músico/ Não-músico ¹
9	22	Feminino	Não-músico
10	22	Feminino	Não-músico
8	27	Masculino	Não-músico
14	39	Masculino	Não-músico
4	51	Masculino	Músico
11	35	Masculino	Não-músico
12	42	Masculino	Não-músico

⁵³ Classificação segundo declaração do próprio participante em questionário preenchido como parte do procedimento experimental.

4.2. Material

O experimento foi realizado no Laboratório de Ciências da Cognição, no Departamento de Fisiologia do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo em uma sala com baixo nível de ruído.

Para apresentação dos estímulos e registro de respostas foi utilizado um computador tipo desktop com processador Core i3-220, 3.30Ghz com sistema operacional Windows 7 Home Premium e um fone de ouvidos supra auricular. O desenho experimental foi desenvolvido por meio do software MATLAB. Os estímulos foram confeccionados com utilização do software Audacity gerando arquivos em formato "WAV". O monitoramento de respostas galvânicas foi realizado com a utilização do equipamento Biopac MP36 juntamente com o software biopac student lab pro.

Os participantes responderam aos testes sentados em uma cadeira fixa, de frente para uma mesa com um teclado de computador. Os eletrodos de monitoramento de respostas galvânicas eram colocados nos dedos indicador e médio da mão não predominante e o participante era orientado a repousar a referida mão sobre a mesa e não movimentá-la durante o decorrer do experimento. O fone de ouvidos era ajustado e era pedido que a mão predominante, após início do experimento, fosse mantida sobre o teclado de computador, próximo à região compreendendo as teclas "1" à "7". O participante era orientado a realizar somente os movimentos necessários para a execução da tarefa.

4.3. Estímulos

Cada tentativa consistiu da apresentação de uma escala de dó maior

ascendente (fig. 13A) ou descendente (fig.13B) seguida de uma dentre 13 notas finais (“*probe tones*”) retiradas da escala cromática (fig 13C). Os estímulos eram apresentados aleatoriamente, de forma a contemplar as 13 notas de finalização tanto no contexto ascendente como no contexto descendente. Os estímulos foram construídos com sons senoidais, com frequências calculadas de acordo com a escala temperada. Cada nota tinha duração de 750ms com intervalo de aproximadamente 9s entre as tentativas, variando de acordo com a velocidade de resposta do participante. A intensidade de todos os sons apresentados teve incremento constante, partindo de 0 dB NPS até o nível definido de apresentação nos primeiros 30ms e decréscimo constante, partindo do nível definido para apresentação até 0 dB nos 30ms finais. Os arquivos com os estímulos foram gerados no formato “WAV” e eram “chamados” pelo software no momento da apresentação.

Figura 13: Representação dos estímulos (A) ascendente, (B) descendente e (C) “probe-tones” em notação musical tradicional. As notas foram apresentadas como sons senoidais com duração de 750ms. Da esquerda para direita lê-se (A) Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá, Si, Dó; (B) Dó, Si, Lá, Sol, Fá, Mi, Ré, Dó; (C) Dó, Dó#, Ré, Ré#, Mi, Fá, Fá#, Sol, Sol#, Lá, Lá#, Si, Dó.

4.4. Procedimento

Os voluntários participaram de uma única sessão de testes com duração de aproximadamente 50 min. Antes do início do experimento foi pedido a cada participante que preenche-se um questionário de avaliação geral. A tarefa foi instruída verbalmente aos participantes. O experimentador permaneceu na sala durante os testes posicionado atrás de um anteparo branco, sem, portanto, contato visual com os participantes.

Os estímulos foram divididos em 8 blocos contendo 26 tentativas cada, contemplando assim os contextos ascendente e descendente com cada um dos 13 *probe tones*. A cada tentativa era apresentado uma escala incompleta, ascendente ou descendente, finalizada por um *probe tone*. Tanto o contexto como o *probe tone* eram apresentados randomicamente, por sorteio sem repetição.

A tarefa do participante era julgar o grau de adequação das notas de finalização (*probe tones*) em relação ao contexto apresentado. O julgamento deveria ser feito pela atribuição de notas entre 1 e 7, sendo 1 atribuído à pior adequação possível e 7 à melhor adequação possível. Os participantes foram encorajados a usar toda a gama de notas disponíveis, de forma a avaliarem o mais precisamente possível. O julgamento deveria ser feito pressionando-se, o mais rápido possível, uma das respectivas teclas no teclado do computador. Os participantes foram instruídos a se movimentarem o mínimo possível durante o experimento, mantendo a mão predominante sobre o teclado e efetuando somente os movimentos necessários para execução da tarefa. Ao final de cada bloco os participantes podiam se movimentar livremente. O início de cada bloco era determinado pelo próprio participante, pressionando-se a barra de espaço no teclado. Ao final do quarto bloco os participantes eram incentivados a fazer uma pausa maior

antes de prosseguir. Não foram realizadas sessões de treino.

4.5. Resultados

4.5.1. Perfil dos participantes:

O perfil de resposta de cada participante foi traçado a partir da média das 8 repetições para cada um dos 13 *probe tones* nos contextos ascendente e descendente. Os 16 perfis individuais de avaliação foram submetidos à análise de agrupamentos baseada em matriz de correlações (Figura14), dando origem à dois agrupamentos: Grupo 1 (N=6) e Grupo 2 (N=7). Como critério de corte para formação dos *clusters*, foi adotado $r=0,388$ ($p<0,05$).

No grupo 1 três participantes têm graduação completa em música, um tem graduação incompleta, um não tem graduação em música mas declarou tocar violão há 12 anos e somente um participante declarou não ter qualquer conhecimento musical. No grupo 2 somente um participante tem graduação em música. Todos os outros declararam não ter qualquer conhecimento musical.

Figura 14: Formação de agrupamentos baseada na matriz de correlação segundo padrão de avaliação dos 16 participantes do experimento. Cada sujeito é representado por uma das linhas ao longo da ordenada. A abscissa representa o grau de correlação entre indivíduos e grupos. A linha vermelha representa o ponto estabelecido para formação dos agrupamentos, com $r=0,388$ e $p<0,05$. O Grupo 1 foi formado majoritariamente por músicos, sendo 3 sujeitos com formação musical em nível superior, um sujeito com nível superior incompleto em música, um sujeito que declarou tocar violão há 12 anos e somente um sujeito que declarou não ter qualquer conhecimento musical. Somente um sujeito no Grupo 2 tem formação em música em nível superior. Todos os outros declararam não ter conhecimento formal em música. Três participantes não foram agrupados ao nível de correlação estabelecido, ficando, portanto, fora da análise final.

4.5.2. Avaliação:

Estabelecidos os agrupamentos, foi traçado o perfil de avaliação de cada um dos grupos pelo cálculo da média das avaliações dos participantes de cada grupo para cada um dos 13 *probe tones*. Os perfis foram submetidos à análise de variância um fator de medidas repetidas (ANOVA) contendo 26 níveis seguida por 25 contrastes ortogonais para auxílio na identificação das características investigadas. Foi adotado nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

A média das avaliações de cada *probe tone* é mostrada, para cada grupo, em ambos os contextos, nas figuras 15 e 16.

Figura 15: Média e desvio padrão das avaliações nos contextos ascendente e descendente do grupo1. A abcissa contém os 13 probe tones apresentados. A ordenada contém a magnitude de avaliação com notas entre 1 e 7. O Grupo 1 foi formado prioritariamente por músicos, sendo 3 sujeitos com formação musical em nível superior, um sujeito com nível superior incompleto em música, um sujeito que declarou tocar violão há 12 anos e somente um sujeito que declarou não ter conhecimento musical.

Figura 16: Média das avaliações e desvio padrão dos contextos ascendente e descendente do grupo 2. A abcissa contém os 13 probe tones apresentados. A ordenada contém a magnitude de avaliação com notas entre 1 e 7. No Grupo 2, somente um participante tem graduação em música. Todos os outros declararam não ter qualquer conhecimento musical e não tocar instrumentos musicais.

O grupo 1 mostrou preferência pelas notas Dó em ambas as oitavas sobre todas as outras notas da escala no contexto ascendente ($F_{(1,125)}=89,067$, $p<0,001$ e $F_{(1,125)}=79,952$, $p<0,001$). Apenas no contexto descendente as notas Dó4 e Dó5, apresentaram diferença significativa entre si ($F_{(1,125)}=8,499$, $p=0,004$).

As notas pertencentes à escala diatônica (Ré, Mi, Fá, Sol, Lá, Si), foram mais bem avaliadas que as notas não pertencentes à escala diatônica (Dó#, Ré#, Fá#, Sol#, Lá#), apresentando diferença significativa em ambos os contextos (contexto ascendente: $F_{(1,125)}=69,328$ $p<0,001$; contexto descendente: ($F_{(1,125)}=78,884$ $p<0,001$).

As notas Mi e Sol (III e V graus da escala, respectivamente), não

apresentam diferença estatisticamente significativa com relação às demais em ambos os contextos.

Apesar de não apresentarem diferenças estatisticamente significantes, as notas naturais adjacentes ao Dó (Ré no contexto ascendente e Si no contexto descendente) foram as mais bem avaliadas após as próprias notas Dó, seguidas das notas Dó#, no contexto ascendente, cuja distância da tônica é de $\frac{1}{2}$ tom e Lá# no contexto descendente, cuja distância da tônica é de 1 Tom (Figura 17 e Figura 18). Os contextos ascendente e descendente não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si e apresentaram forte correlação positiva, com $r=0,769$; $p=0,002$ (Figura 21).

Figura 17: Média das avaliações e desvio padrão do grupo 1 organizadas em sentido decrescente no contexto ascendente. As notas Dó são as mais bem avaliadas em ambas as oitavas. Exceto pelo Do#, as notas pertencentes à escala (naturais) receberam melhores avaliações com relação às notas não pertencentes à escala (sustenidos).

Figura 18: Média das avaliações do grupo 1 organizadas em sentido decrescente no contexto descendente. As notas Dó são as mais bem avaliadas em ambas as oitavas. Exceto pelo Lá#, as notas pertencentes à escala (naturais) receberam melhores avaliações com relação às notas não pertencentes à escala (sustenidos).

O grupo 2 (Figuras 16, 19 e 20) apresentou clara preferência pelas Notas Dó na oitava referente ao complemento imediato da escala (Do_4 para ascendente e $Dó_5$ para descendente). Conjuntamente, as notas Do_4 e $Dó_5$ apresentaram diferença significativa com relação às demais notas da escala no contexto descendente ($F_{(1,150)}=30,814$, $p<0,001$) e também entre si em ambos os contextos (contexto ascendente: $F_{(1,150)}=76,876$ $p<0,001$; contexto descendente: $F_{(1,150)}=48,465$ $p<0,001$).

Não foi observada diferença significativa entre notas da escala diatônica e notas não diatônicas no contexto ascendente. O contexto descendente, entretanto, apresentou diferença ($F_{(1,150)}=18,140$, $p<0,001$).

Não foi encontrada diferença significativa entre as notas Mi e Sol e as demais notas da escala em ambos os contextos.

As escalas ascendente e descendente apresentaram diferença significativa ($F_{(1,150)}=119,636$, $p<0,001$) e correlação $r=-0,6331$, $p=0,020$ (Figura 21).

No contexto ascendente ficou clara a preferência pelas notas mais próximas à tônica, sendo que o decréscimo da magnitude das avaliações ocorreu, exceto pela

inversão entre notas Sol e Fá#, exatamente de acordo com o incremento de distância intervalar da escala cromática, em passos de $\frac{1}{2}$ tom. No contexto descendente, não se observa padrão em relação aos parâmetros previstos para as notas além da tônica.

Figura 19: Média e desvio padrão das avaliações do grupo 2 organizadas em sentido decrescente no contexto ascendente. A nota Dó pertencente à oitava que complementa a escala é a nota com maior avaliação entre todas as outras. Com exceção da inversão entre as notas Sol e Fá#, a magnitude das avaliações decresceu com o aumento da distância intervalar em relação à tônica.

Figura 20: Média e desvio padrão das avaliações do grupo 2 organizadas em sentido decrescente no contexto descendente. A nota Dó pertencente à oitava que complementa a escala é a nota com maior avaliação entre todas as outras.

Figura 21: Correlação entre contextos ascendente e descendente de avaliação dos Grupo 1(esq.) e Grupo 2 (dir.).

4.5.3. Tempos de Reação

A análise de tempo de reação foi realizada à partir dos agrupamentos estabelecidos pelos perfis de avaliação. As médias dos tempos de reação obtidos para os dois grupos podem ser vistas das figuras 22 e 23. Os perfis foram submetidos à análise de variância um fator de medidas repetidas (ANOVA) contendo 26 níveis, seguida por 25 contrastes ortogonais. Adotou-se o nível de significância de 5% ($p=0,05$). Tempos de reação inferiores a 100ms e superiores à 2887ms foram excluídos da análise.

No **grupo 1**, conjuntamente, as notas Dó apresentaram diferença significativa com relação às demais notas da escala diatônica em ambos os contextos (ascendente, $F_{(1,125)}=9,653$; $p=0,002$ descendente, $F_{(1,125)}=13,495$, $p<0,001$).

Foi encontrada diferença significativa entre notas diatônicas x não diatônicas no contexto ascendente ($F_{(1,125)}=4,276$; $p=0,041$). Não foi encontrada diferença no contexto descendente.

Não foram encontradas diferenças significantes das notas Mi e Sol em relação as demais notas da escala diatônica, em ambos os contextos.

Curiosamente foi encontrada diferença significativa entre as nota Fá# e as demais notas não diatônicas no contexto ascendente, mas não no contexto descendente.

Não foi encontrada diferença significativa entre os contextos ascendente e descendente. Não foi encontrada correlação significativa entre os contextos.

No **grupo 2** as notas Dó, conjuntamente, apresentaram diferença significativa com relação às demais notas da escala diatônica ($F_{(1,150)}=7,541$ $p=0,007$ no contexto ascendente, assim como entre as notas Dó4 e Dó5 ($F_{(1,150)}=5,795$; $p=0,017$).

Não foram encontradas diferenças significantes entre as notas Mi e Sol, conjuntamente, em relação as demais notas da escala diatônica, em ambos os contextos.

Não foi encontrada diferença significativa entre os contextos ascendente e descendente. Não foi encontrada correlação significativa entre os contextos.

Figura 22: Média dos tempos de reação e desvio padrão registrados em resposta às avaliações nos contextos ascendente e descendente do grupo 1. A abcissa contém os 13 probe tones apresentados. A ordenada contém o tempo de reação em ms.

Figura 23: Média e desvio padrão dos tempos de reação registrados em resposta às avaliações nos contextos ascendente e decendente do grupo 2. A abscissa contém os 13 probe tones apresentados. A ordenada contém o tempo de reação em ms.

Figura 24: Correlação entre os contextos ascendente e decendente dos tempos de reação do Grupo1 (esq.) e Grupo 2 (dir.)

4.5.4. Respostas Galvânicas

A análise prévia revelou inconsistência dos dados coletados não sendo viável o prosseguimento da análise estatística.

4.6. Discussão Parcial

4.6.1. Avaliação

A análise das avaliações revelou diversos fatores de influência condizentes com a literatura. Em primeiro lugar, a formação de agrupamentos baseada na correlação dos perfis dos participantes mostrou de forma enfática a influência do expertise no padrão de respostas. O grupo 1 foi formado predominantemente por músicos, enquanto que no grupo 2, somente um participante tinha formação musical. A preferência pelo Dó na oitava que da escala era, obviamente, esperada, uma vez que é a nota que completa a escala. É também amplamente conhecido o fato de dois sons separados por oitava, ou seja, com razão de frequência de 2:1, possuírem similaridades essenciais, à ponto de, na música, receberem os mesmos nomes (Deutsch, 1969). Intervalos de oitava são frequentemente descritos pela teoria musical como pertencentes à mesma classe de *pitch* (Deutsch, 1984) característica que se encontra na base perceptual da transposição musical (Yost, 2008). Seria por esse ponto de vista razoável esperar que as notas Dó fossem bem avaliadas em ambas as oitavas. No âmbito musical, entretanto, os sons gerados pelos instrumentos tradicionais são, invariavelmente, complexos, de forma que as oitavas

mantêm em comum o mesmo “pitch chroma”, o que confere ao intervalo alto grau de consonância e similaridade espectral. No contexto do experimento, no entanto, foram utilizados sons senoidais, eliminando, dessa forma, o fator espectral, sendo provável o enfraquecimento da similaridade. Ainda, a oitava, no contexto, era o *probe tone* com maior distância intervalar da nota esperada, outro ponto que poderia influenciar na magnitude da avaliação.

O padrão de respostas apresentado pelo grupo 1 alinhou-se à ideia da equivalência de oitavas, sendo ambas as notas Dó as mais bem avaliadas dentre todas as outras. No contexto descendente, no entanto, as oitavas diferenciaram-se significativamente entre si. A oitava, no caso, além de ser pior avaliada apresentou um desvio padrão alto, sugerindo, de fato, enfraquecimento da sensação de equivalência. No grupo 2, as notas Dó que complementam a escala foram, em ambos os contextos, como esperado, as mais bem avaliadas entre todas as outras. No entanto, as oitavas tiveram avaliação baixa, sugerindo que a distância intervalar prevaleceu à equivalência de oitavas.

A ideia de hierarquia tonal tem por base que as funções tonais são incorporadas por exposição ao repertório tonal, tornando-se base para a formação de expectativas dentro desse contexto. Assim, seria esperado que as avaliações variassem de acordo com tais funções, sendo as notas naturais, pertencentes à escala, melhor avaliadas que as notas não pertencentes (sustenidos) e, dentre as notas naturais, seria esperado que o grau V (nota Sol) fosse o mais bem avaliado seguido do grau III (nota Mi). O padrão de avaliação do grupo 1 apresentou essa tendência, destacando-se a semelhança de avaliação da nota sol em ambos os contextos, observada pela sobreposição no gráfico (Figura 15). O padrão de avaliação do grupo 2, no entanto, parece balizar-se pela distância intervalar, sendo que, quanto mais distante a nota se apresenta da nota esperada, menor a avaliação. Curiosamente, no grupo 1, as notas mais bem avaliadas depois das notas Dó, são notas que estão à $\frac{1}{2}$ e 1 tom de distância da nota Dó que completa a escala em cada um dos contextos, uma tendência ao padrão de proximidade apresentado pelo

grupo 2. Uma forma de explicação para essas avaliações seria a superposição em graus diferentes dos dois padrões delineados, de forma que para as notas próximas à de complemento da escala, o padrão “distância” sobrepujaria o padrão ‘hierarquia tonal”.

Assim, corroborando estudo Krumhansl & Shepard, (1979) fica evidente a influência do expertise nos padrões de avaliação dos participantes, sugerindo que músicos tendem a avaliar de acordo com os preceitos de origem cultural previstos pela hipótese da hierarquia tonal, enquanto que para não músicos a distância intervalar em relação a nota esperada é o parâmetro mais relevante para avaliação.

4.6.2. Tempo de reação

Esperava-se encontrar respostas com tempos de reação que mostrassem correspondência com os parâmetros suscitados pelos padrões avaliações de finalização. Os tempos de reação para avaliação da tônica mostraram-se condizentes com o esperado em ambos os contextos no grupo 1, mas apenas no contexto ascendente do grupo 2. A diferença encontrada no contexto ascendente, entre as notas diatônicas e não diatônicas também era esperada para participantes com maior expertise. Não foram encontradas, no entanto diferenças entre as notas Mi e Sol em nenhum dos grupos.

4.6.3. Respostas galvânicas

Os dados coletados mostraram variação de magnitude demasiadamente baixos e variabilidade alta. Durante monitoração feita no período de coleta de dados, observou-se que pequenos movimentos corporais eram capazes de deflagrar respostas maiores do que as observadas em resposta aos estímulos. Ainda que orientados a realizar o mínimo de movimento possível durante a tarefa, notou-se que o realinhamento de postura por fadiga e movimentos com a mão para responder aos estímulos provocavam ruídos que inviabilizavam a coleta. Ainda com seleção rigorosa dos dados, pela eliminação de tentativas consideradas inválidas, marcadas durante a coleta, a análise prévia realizada revelou inconsistência dos dados e, portanto, contraproducente o prosseguimento da análise. Assim, o método empregado mostrou-se ineficaz para o objetivo proposto.

4.6.4. Avaliação vs. Tempo de reação

O estudo mostrou-se consistente com relação à análise dos perfis de avaliação, corroborando dados bem estabelecidos na literatura nos seus principais aspectos. Esperava-se que os tempos de reação pudessem funcionar como índice indireto dos parâmetros relacionados à avaliação.

Estes foram parcialmente demonstrados. Os perfis dos tempos de reação do Grupo1 apresentou tendência ao padrão inverso ao de avaliação, sendo que, no geral, as notas pertencentes à escala diatônica apresentaram tempos de reação menores que os das notas não diatônicas, de acordo com

o esperado para participantes com maior expertise. Embora não se possa afirmar o mesmo acerca dos perfis do grupo 2, a diferença observada entre as notas Dó no contexto ascendente sugere alinhamento ao padrão encontrado na avaliação com o Dó₄ melhor avaliado e com menor tempo de reação e o Dó₅ pior avaliado e com tempo de reação maior. Encontrou-se correlação negativa moderada entre avaliação e tempo de reação para o grupo1 ($r=-0,400$; $p=0,043$), mas não foi encontrada correlação significativa para o grupo2 (Figura 25).

Uma possível explicação para o não atendimento dos resultados esperados se dê pelo desenho experimental. Em primeiro lugar em função do número elevado de escolhas possíveis, bem diferente da maior parte dos estudos que utilizam a técnica. Após o experimento, alguns voluntários relataram certa dificuldade e, portanto, gasto de tempo extra, para identificar a tecla correspondente à valores de respostas intermediários. Nesse sentido, o próprio teclado do computador pode ter sido problemático por oferecer excesso de estímulos visuais concorrentes, dificultando a tarefa.

Uma segunda hipótese seria que os parâmetros que se almejava sejam demasiados sutis para a pretensão das medidas, tal qual parece ter ocorrido com relação à tentativa de medida de variações eletrodérmicas.

Alguns estudos vêm apontando para a validação do método nesse tipo de investigação. Os estudos encontrados na literatura, no entanto, são ainda poucos, realizados com métodos e objetivos diferentes, não oferecendo, entende-se, a robustez necessária para sua validação efetiva.

Entende-se que esse tipo de medida, indireta, seja essencial para compor estudos dessa natureza. Por conseguinte, julga-se importante o prosseguimento da investigação sobre a aplicação da técnica, buscando eliminar possíveis interferências e fontes de erro capazes de distorcer os dados coletados.

Figura 25: Correlação entre avaliação e tempo de reação para Grupo1 (esq.) e Grupo 2 (dir.)

5. EXPERIMENTO 2

5.1. Participantes

Participaram 17 adultos com idades entre 22 e 49 anos sendo 7 do sexo masculino e 10 do sexo feminino. Os participantes foram submetidos à avaliação audiológica⁵⁴ e declararam não fazerem uso de medicamentos que atuam no sistema nervoso central. Responderam, ainda, à uma versão modificada do questionário de Edinburgh (Oldfield, 1971) para avaliação de destreza (Anexo C). Os participantes não tinham conhecimento detalhado acerca do experimento e nenhum deles tinha experiência em tarefas psicofísicas. Os voluntários foram somente informados de que se tratava de um experimento na área de cognição musical e que envolvia tarefas de classificação de estímulos auditivos. Ao aceitarem participar do estudo, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (Anexo A). Dois participantes foram excluídos do estudo, um por não ter compreendido as tarefas propostas⁵⁵ e outro por apresentar perda auditiva em altas frequências, de acordo com a audiometria tonal realizada. Após formação de agrupamentos baseados na matriz de correlações, a partir dos padrões de avaliação, foram obtidos cinco grupos (Tabela 7), sendo: Grupo 1 (N=3) com dois homens e uma mulher, $\bar{x}=28,0$ e $s=4,4$ anos; Grupo 2 (N=3) com um homem e duas mulheres, $\bar{x}=26,7$ e $s=5,0$ anos; Grupo 3 (N=2) com duas mulheres $\bar{x}=39,0$ e $s=5,7$ anos; Grupo 4 (N=3) com três homens, $\bar{x}=31,3$ e $s=15,3$ anos e Grupo 5 (N=3) com um homem e duas

54 Os sujeitos realizam audiometria tonal. Foram testadas as frequências 125, 250, 500, 750, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 e 8000Hz. Os exames foram realizados na Faculdade de Medicina de Universidade de São Paulo, departamento de Fonoaudiologia e Audiologia clínica. Foi utilizado o audiômetro GSI-61. Fonoaudióloga responsável: Dra. Seisse Gabriela G. Sanches.

55 O sujeito em questão respondeu “adequada” a todas as notas de finalização apresentadas.

mulheres $\bar{x}=30,3$ e $s=6,0$ anos. Um participante não estabeleceu agrupamento ao nível de corte estabelecido na análise, ficando, portanto, fora da análise estatística (Figura 26). Nenhum dos participantes reportou ter ouvido absoluto.

Tabela 7: Participantes segundo divisão por formação de agrupamentos baseada na matriz de correlações à partir do padrão de respostas à avaliação. *A classificação "músico/ não-músico", bem como o item "conhecimento musical formal" foram declarados espontaneamente pelos próprios voluntários em questionário que antecedeu experimento.

Participante	Idade	Sexo	Músico/ Não-Músico*	Escolaridade	Conhec. musical formal*	Graduação em Música
Grupo 1						
4	31	M	Músico	Graduação	Não	Não
6	23	M	Não-músico	Graduação (estudante)	Não	Não
13	30	F	Não-músico	Graduação	Não	Não
Grupo 2						
9	26	F	Músico	Graduação	Não	Não
14	22	M	Não-músico	Graduação	Não	Não
15	32	F	Não-músico	Graduação (estudante)	Não	Não
Grupo 3						
7	35	F	Músico	Mestrado	Sim	Não
8	43	F	Não-músico	Graduação	Não	Não
Grupo 4						
5	22	M	Músico	Graduação	Sim	Sim
10	23	M	Músico	Graduação	Sim	Sim
11	49	M	Músico	Mestrado	Sim	Sim
Grupo 5						
1	36	M	Não-músico	Mestrado	Não	Não
2	31	F	Não-músico	Mestrado	Não	Não
17	24	F	Não-músico	Graduação	Não	Não

Figura 26: Formação de agrupamentos baseada na matriz de correlação segundo padrão de avaliação dos 15 participantes do experimento. Cada sujeito é representado por uma das linhas ao longo da ordenada. A abscissa representa o grau de associação entre indivíduos e grupos. A linha vermelha representa o ponto estabelecido para separação dos agrupamentos, com $r=0,388$.

5.2. Aparato

O desenho experimental foi integralmente desenvolvido em Pure Data, versão 0.43.4 extended. Para o procedimento experimental foi utilizado um *notebook* marca Samsung, modelo “Series 5” com processador Intel Core i5 e um fone de ouvidos supra aural marca AKG, modelo AK52. Os experimentos utilizaram uma interface contendo dois interruptores de pressão do tipo “chave tátil” alocados em um invólucro de mouse de computador (Figura 28). Os interruptores foram conectados a uma placa de prototipagem eletrônica do tipo arduino, modelo nano V3.0 com microcontrolador ATMEGA328P. A comunicação entre arduino e Pure Data foi feita via usb, por intermédio do protocolo firmata versão 2.1 e da biblioteca Pduino, versão 0.5.

Figura 27: Aparato experimental utilizado para os experimentos 2 e 3.

Figura 28: Detalhe da conexão entre interruptores, arduino e usb. O hardware do mouse foi alterado para que seus interruptores de pressão fossem diretamente ligados às entradas do arduino, sem interferência do circuito original.

5.3. Estímulos

Cada tentativa consistiu, tal qual no experimento 1, da apresentação de uma escala de dó maior ascendente (fig. 13A) ou descendente (fig.13B) seguida de uma entre 13 notas de finalização (*probe tones*) retiradas da escala cromática (fig 13C). Os estímulos foram apresentados aleatoriamente, de forma a contemplar as 13 notas de finalização tanto no contexto ascendente como no contexto descendente.

Os estímulos foram gerados pelo Pure Data, constando de sons senoidais com frequências calculadas de acordo com a escala temperada. Cada nota das

escalas ascendente e descendente teve duração de 250ms e intervalo de 50ms entre elas. Os *probe tones* foram antecidos de um *foreperiod* de 200, 300 ou 400ms, sorteados a cada tentativa. Os *probe tones*, tal qual as frequências da escala, tiveram duração de 250ms. A intensidade de todos os sons apresentados teve incremento constante, partindo de 0 dB NPS até o nível definido de apresentação, nos primeiros 30ms e decréscimo constante, partindo do nível definido para apresentação, até 0 dB, nos 30ms finais. Cada participante tinha um intervalo de tempo de 100ms e 3000ms para efetuar a resposta. Respostas fora desse intervalo eram consideradas inválidas e o participante recebia feedback “não avaliado” na tela do computador. Cada novo estímulo era apresentado automaticamente 1000ms após a resposta ao estímulo anterior.

5.4. Procedimento

O experimento foi realizado no Laboratório de Neurociências Cognitivas e Aprendizagem do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo em uma sala com baixo nível de ruído em uma única sessão de testes com duração de aproximadamente 50 min. Antecedendo o experimento, todos os voluntários realizavam a tarefa de equalização individual de sensação de volume. Após o término da tarefa era feito um intervalo de aproximadamente 20min, período no qual o pesquisador calculava a intensidade das frequências intermediárias às frequências avaliadas na tarefa de equalização para inserção nos módulos experimentais. Nesse período solicitava-se também o preenchimento do questionário de avaliação geral e do questionário adaptado de Edinburgh (Oldfield, 1971) para avaliação de destreza, além do termo de consentimento livre e esclarecido.

Os participantes sentavam-se em uma cadeira, em frente a um computador tipo “notebook” conectado ao dispositivo de coleta de respostas. Eram instruídos

verbalmente e orientados a colocar o fone de ouvidos. A tarefa dos participantes era julgar a adequação dos *probe tones* à escala maior anteriormente apresentada. A resposta era efetuada pressionando-se dois botões de um mouse de computador⁵⁶, sendo que o botão esquerdo registrava “adequado” e o botão direito, “não adequado”. Antes de iniciar, os voluntários realizavam sessão de treino. Os estímulos utilizados na sessão de treino eram idênticos aos utilizados no experimento, estendo-se, no máximo, à um bloco completo do experimento (26 tentativas). Os participantes foram instruídos a manter a mão sobre dispositivo e realizar o julgamento pressionando os botões “o mais rápido possível”.

Os estímulos foram divididos em 6 blocos com 26 tentativas cada. O início de cada bloco era determinado pelo próprio participante, bastando que fosse pressionada a barra de espaço no teclado para inicia-lo.

5.5. Resultados

5.5.1. Perfil dos participantes

O perfil de resposta de cada participante foi traçado a partir da média das 6 repetições para cada um dos 13 *probe tones* nos contextos ascendente e descendente. Os 15 perfis individuais de avaliação foram submetidos à análise de agrupamentos baseada na matriz de correlação (Figura 26), dando origem à cinco agrupamentos: Grupo 1 (N=3), Grupo 2 (N=3) Grupo 3 (N=2), Grupo 4 (N=3) e Grupo 5 (N=3). Um dos participantes não estabeleceu agrupamento ao nível de

⁵⁶ Como descrito anteriormente, não se utilizou o mouse em sua função original no desenho experimental, mas, somente seus botões, conectados a uma placa de prototipagem eletrônica, interface responsável pela comunicação com o Pure Data.

corde determinado e, portanto, ficou fora da análise. Como critério de corte para formação dos agrupamentos foi adotado $r=0,388$ ($p<0,05$).

No grupo 1 nenhum dos participantes possui graduação em música. Dois participantes declararam não ter qualquer conhecimento musical e um participante declarou-se músico, porém sem conhecimento formal. No grupo 2, nenhum dos participantes possui graduação em música. Um participante declarou-se músico, porém, sem conhecimento formal, e dois declararam não ter conhecimento musical. No grupo 3 um participante declarou não ter conhecimento musical e um declarou-se músico, com conhecimento formal, sem graduação em música. No grupo 4, todos os participantes declararam-se músicos, com conhecimento formal e possuem graduação em música. No grupo 5, todos os participantes declararam não ter qualquer conhecimento em música.

5.5.2. Avaliação:

Estabelecidos os agrupamentos, foi traçado o perfil de avaliação de cada um dos grupos pelo cálculo da média das avaliações dos participantes de cada grupo para cada um dos 13 *probe tones*. Os perfis foram submetidos à análise de variância um fator de medidas repetidas (ANOVA) contendo 26 níveis, seguida por 25 contrastes ortogonais. Foi adotado nível de significância de 5% ($p=0,05$).

A média e desvio padrão de cada *probe tone* é mostrada, para cada grupo, na Figura 29.

No **grupo 1** as notas Dó foram claramente mais bem avaliadas que todas as demais, apresentando, conjuntamente, diferença significativa em relação às notas da escala diatônica em ambos os contextos (ascendente: $F_{(1,50)}=157,590$, $p<0,001$; descendente: $F_{(1,50)}=137,868$, $p<0,001$).

As notas da escala diatônica tiveram preferência sobre as notas não

diatônicas, apresentando diferença significativa em ambos os contextos (ascendente: $F_{(1,50)}=29,701$, $p<0,001$; descendente: $F_{(1,50)}=28,359$, $p<0,001$).

As notas Mi e Sol, não apresentaram diferença significativa em relação as demais notas da escala diatônica em ambos os contextos.

Foi encontrada diferença significativa entre os contextos ascendente e descendente ($F_{(1,50)}=5,217$, $p=0,027$). A correlação encontrada entre ambos os contextos foi $r=0,916$; $p<0,001$.

Figura 29: Média e desvio padrão das avaliações nos contextos ascendente e descendente de cada um dos cinco grupos. As abcissas contêm os 13 *probe tones* apresentados. As ordenadas contêm a média das seis avaliações de cada grupo para cada um dos *probe tones*.

No **grupo 2**, foi encontrada diferença significativa entre as notas Dó, conjuntamente, e as demais notas da escala diatônica, para ambos os contextos (ascendente: $F_{(1,50)}=4,075$, $p=0,049$; descendente: $F_{(1,50)}=7,889$, $p=0,007$).

As notas da escala diatônica tiveram preferência sobre as notas não diatônicas em ambos os contextos (ascendente: $F_{(1,50)}=17,366$, $p<0,001$; descendente: $F_{(1,50)}=32,171$, $p<0,001$).

As notas Mi e Sol apresentaram diferença significativa para o contexto descendente ($F_{(1,50)}=6,163$, $p=0,016$), mas não para o contexto ascendente.

Os contextos ascendente e descendente apresentaram diferença significativa ($F_{(1,50)}=18,207$, $p<0,001$). A correlação encontrada para os contextos foi $r=0,760$; $p=0,003$.

O **grupo 3** foi estabelecido somente com 2 participantes, ficando, portanto, fora da análise estatística.

No **grupo 4** as notas Dó conjuntamente, não apresentaram diferença significativa para com as demais em ambos os contextos, entretanto, em ambos os contextos as oitavas apresentaram diferença significativa entre si (contexto ascendente: $F_{(1,50)}=5,334$, $p<0,025$; contexto descendente: $F_{(1,50)}=11,130$, $p<0,002$).

Em ambos os contextos, as notas da escala diatônica foram melhor avaliadas que as não diatônicas (contexto ascendente: $F_{(1,50)}=34,115$, $p<0,001$; contexto descendente: $F_{(1,50)}=41,341$, $p<0,001$).

As notas Mi e Sol não apresentaram diferença significativa em ambos os contextos.

Os contextos ascendente e descendente, não apresentaram diferença significativa.

Foi encontrada a correlação $r=0,948$; $p<0,001$.

No **grupo 5** as notas Dó não apresentaram diferença significativa com as demais e nem entre si em ambos os contextos.

As notas da escala diatônica não apresentaram diferença significativa em relação às não diatônicas em ambos os contextos.

As notas Mi e Sol apresentaram diferença significativa em relação às demais notas diatônicas apenas no contexto descendente ($F_{(1,50)}=6,080$, $p=0,017$).

Os contextos ascendente e descendente apresentaram diferenças significantes ($F_{(1,50)}=35,271$, $p<0,001$). A correlação encontrada entre ambos os contextos foi $r=0,845$; $p<0,001$.

A correlação entre os contextos de avaliação ascendente e descendente para cada um dos cinco grupos pode ser vista na Figura 30.

Figura 30: Correlação entre os contextos ascendente e descendente de avaliação para cada um dos cinco grupos

5.5.3. Tempo de reação

Utilizando os mesmos agrupamentos estabelecidos para a avaliação, foi traçado o perfil de tempo de reação de cada um dos grupos pelo cálculo da média dos tempos dos participantes para cada um dos 13 *probe tones* (Figura 31). Os perfis foram submetidos a análise de variância um fator de medidas repetidas (ANOVA) contendo 26 níveis. Foi adotado nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Não foram detectadas diferenças significantes entre *probe tones* para os tempos de reação de nenhum dos agrupamentos, portanto, não foi realizado pós teste.

A correlação entre os contextos ascendente e descendente para cada um dos grupos pode ser vista na (Figura 32).

Figura 31: Média dos tempo de reação dos contextos ascendente e descendente para cada um dos grupos. As abscissas contém os 13 *probe tones* apresentados. As ordenadas contém o tempo de reação em ms.

Figura 32: Correlação entre contexto ascendente e descendente dos tempos de reação para cada um dos cinco grupos.

5.5.4. Correlações entre Avaliação e Tempo de reação

Foram encontradas as seguintes correlações entre tempo de reação e avaliação: Grupo1: $r=-0,467$; $p=0,016$, Grupo 2 $r=-0,703$; $p<0,01$, Grupo 3: $r=-0,394$; $p=0,047$, Grupo 5: $r=-0,616$, $p=0,001$. Não foi encontrada correlação significativa para o grupo 4.

Figura 33: Correlação entre tempo de reação e avaliação para cada um dos cinco grupos

5.6. Discussão Parcial

Pode-se observar, em primeiro lugar, a formação de um número expressivamente maior de grupos formados pela análise de agrupamentos em relação aos dois únicos formados no experimento 1. A característica encontra-se alinhada à literatura. No estudo de Frankland e Cohen (1990), onde se utilizou desenho similar ao empregado no presente estudo, a análise de agrupamentos baseada na matriz de correlação estabeleceu também uma grande variedade de agrupamentos com poucos participantes cada. O processo no desenho empregado, acaba por fazer distinções mais graduais de padrões de comportamento, gerando um número maior de grupos que, grosso modo, parecem ser amálgamas ponderadas de combinações dos perfis estabelecidos no experimento 1. Os Grupos 4 e 5 podem ser considerados os mais “puros” entre os encontrados, sendo o grupo 4 formado integralmente por músicos e o grupo 5, integralmente formado por participantes sem qualquer conhecimento musical. Seus padrões de avaliação correspondem aos padrões encontrados no experimento 1. O inconveniente dessa característica de agrupamento é que os grupos acabam por ser formados com poucos indivíduos e grande variabilidade, impedindo a identificação de diferenciação estatística dentro de cada padrão de respostas, tal como ocorreu com as medidas de tempo de reação.

Por outro lado, a correlação entre os perfis de avaliação e tempo de reação mostrou uma variação que parece se delinear de forma inversa ao expertise. Entre todos os grupos, o grupo 4, formado exclusivamente por músicos, foi o único a não apresentar correlação significativa. As maiores correlações, no entanto foram encontradas nos grupos 2 e 4. Dos seis participantes dos dois grupos, somente um declarou-se músico, porém, sem conhecimento musical formal. De modo geral, a correlação sugere que o tempo de reação se mostra como preditor mais expressivo para participantes com menor expertise musical.

6. EXPERIMENTO 3

No experimento 2, a escala maior apresentada como prime, situava, segundo Krumhansl e Shepard (1979), o participante em um determinado contexto tonal. Ocorre que uma determinada nota (Dó) era esperada para completar a escala e os *probe tones* representavam desvios em relação à nota esperada gerados a partir dos intervalos musicais. O objetivo do experimento 3 é testar a efetividade da escala utilizada como prime em sua função de delineamento de contexto tonal.

No experimento 3, uma frequência fixa é utilizada como referência para apresentação dos *probe tones*. Uma hipótese possível é que os tempo de reação variem de acordo com a distância intervalar dada entre prime e alvo. Uma hipótese alternativa, é que o comportamento dos tempos de reação se alinhem aos padrões encontrados no experimento 2, tal qual ocorrido nos experimentos de expectativa harmônica de Bharucha & Stoeckig, 1986, 1987. Nesse caso seria plausível discutir a efetividade da utilização da escala como prime em sua relação com tempo de reação, permeando a discussão entre os mecanismos sensoriais e cognitivos subjacentes à expectativa melódica (Collins et al., 2014).

6.1. Participantes

Foram utilizados os mesmos participantes do experimento 2, mantendo-se os mesmos agrupamentos a partir dos perfis de avaliação.

6.2. Aparato

Foi utilizado o mesmo aparato do experimento 2

6.3. Estímulos

Cada tentativa consistiu, da apresentação de um som puro de frequência fixa (369,9 Hz), seguido de 12 *probe tones* ascendentes e 12 *probe tones* descendentes retirados da escala cromática, compreendendo os 12 semitons oitava acima e oitava abaixo do som de referência.

Os estímulos foram apresentados aleatoriamente, de forma a contemplar as 12 notas de finalização em cada um dos contextos, ascendente e descendente.

Os estímulos foram gerados pelo Pure Data, constando de sons senoidais com frequências calculadas de acordo com a escala temperada. A nota de referência tinha duração de 750ms, assim como os *probe tones*. Os *probe tones* foram antecidos de um *foreperiod* de 500, 750 ou 1000ms, sorteados a cada tentativa. A intensidade de todos os sons apresentados teve incremento constante, partindo de 0 dB NPS até o nível definido de apresentação, nos primeiros 30ms e decréscimo constante, partindo do nível definido para apresentação, até 0 dB, nos 30ms finais. O participante tinha uma janela de tempo entre 100ms e 3000ms para efetuar a resposta. Respostas fora dessa janela eram consideradas inválidas. Cada novo estímulo era apresentado automaticamente 1000ms após a resposta ao estímulo anterior.

6.4. Procedimento

A curva individual de volume igual era utilizada, tal qual no experimento 2, para definir o nível de intensidade de cada um dos estímulos apresentados. Após pressionar a barra de espaço do teclado do computador, os estímulos eram apresentados aos pares, sendo ao som de referência seguido por um dos *probe tones* sorteados pelo patch. A tarefa do participante era julgar o mais rápido e com a maior acurácia possível se o intervalo formado pelo som de referência e o *probe tone* era ascendente ou descendente. Para as respostas utilizou-se o mesmo dispositivo utilizado no experimento 2. Os estímulos foram dispostos em 6 blocos, com 24 tentativas cada. Antes do início do experimento, era feita uma sessão treino com duração máxima de um bloco completo, assistida pelo pesquisador, para garantir que o participante havia compreendido a tarefa.

6.5. Resultados

6.5.1. Tempos de reação

Não foi detectada diferença significativa entre os *probe tones* dos grupos 1 ($F_{(23,46)}=1,337$, $p=0,198$), 2 ($F_{(23,46)}=1,270$, $p=0,241$) e 4 ($F_{(23,46)}=1,519$, $p=0,113$), portanto, não foi realizado pós teste para os respectivos grupos.

No grupo 5, foi encontrada diferença significativa entre os contextos ascendente e descendente ($F_{(1,50)}=5,593$; $p=0,022$).

Não foi encontrada diferença significativa nos demais fatores.

Figura 34: Média dos tempo de reação dos contextos ascendente e descendente para cada um dos grupos. As abscissas contém os 12 probe tones apresentados. As ordenadas contém o tempo de reação em ms.

6.5.2. Proporção de Erros

Não foi detectada diferença significativa entre os *probe tones* dos grupos 1 ($F_{(23,46)}=1,413$, $p=0,157$), 2 ($F_{(23,46)}=1,569$, $p=0,096$) e 4 ($F_{(23,46)}=0,768$, $p=0,728$), portanto, não foi realizado pós teste para os respectivos grupos. No grupo 5, foi detectada diferença significativa na escala ascendente, 2m e 2M apresentaram maior taxa de erro, ($F(1,50)=24,134$, $p<0,001$; $F(1,50)=16,425$, $p<0,001$, respectivamente).

Figura 35: Proporção de erros nos contextos ascendente e descendente para cada um dos grupos. As abscissas contém os 12 probe tones apresentados. As ordenadas contém o tempo de reação em ms.

6.6. Discussão Parcial

Uma vez que não foi encontrada interação entre *probe tones*, não foi possível a realização de pós teste.

É visível, entretanto que o grupo 4, formado exclusivamente por músicos, erra menos que todos os outros grupos e que o grupo 5, formado exclusivamente por participantes sem formação musical tem, em média tempo de reação inferior a todos os outros.

7. DISCUSSÃO GERAL

Os experimentos 1 e 2, mostraram-se consistentes com relação à avaliação, tanto na forma de notas de 1 a 7 (experimento 1), como com proporções de 0 e 1 (experimento 2), corroborando a literatura e a ideia de estabilidade de hierarquia tonal. Sobretudo, o método de separação de grupos por análise de agrupamento baseada na matriz de correlação, mostrou-se extremamente eficaz, sendo apontado como alternativa metodológica importante para seleção de amostra por critério objetivo.

O método havia sido utilizado por Krumhansl e Shepard (1979) e também por Frankland e Cohen (1990). Entende-se no presente estudo, entretanto, que o modelo de Krumhansl e Shepard (1979), juntamente com a análise de agrupamentos possa ser adotada como pré teste para seleção de amostra, genericamente, em experimentos que investiguem expectativa ou outros aspectos melódicos e harmônicos no contexto da cognição musical.

A utilização de dupla escolha com formação de agrupamentos (como no experimento 2), no entanto, apresenta o inconveniente da formação de muitos grupos, que, se por um lado apresenta um caráter sutil de identificação de comportamento, por outro, dificulta a análise pela pulverização de grupos com poucos participantes, mesmo em grupos muito grandes como no caso de Frankland e Cohen (1990).

Os três principais parâmetros investigados, sejam, equivalência de oitavas, preferência pelas notas diatônicas sobre as não diatônicas, preferência sobre os graus III e V sobre os outros graus da escala e a preferência pelas notas mais próximas à nota esperada, foram todos contemplados nas avaliações dos experimentos 1 e 2 em seus devidos graus. Nota-se que os critérios equivalência de oitavas, preferência pelas notas diatônicas e preferência pelos graus III e V são

preferidos pelos participantes com maior expertise, sendo contemplados em seus devidos graus. Os participantes com menor expertise tendem a avaliar as notas mais próximas da nota esperada melhor do que as notas menos esperadas.

Os tempos de reação relacionaram-se apenas parcialmente com as avaliações. No primeiro experimento, foram apontados alguns possíveis problemas com o desenho experimental que poderiam afetar os resultados. Foram realizadas as alterações necessárias para a correção no experimento 2, entretanto, em função da grande divisão de grupos, não foi possível realizar a análise plena dos dados.

Uma outra hipótese provável, é que, à medida que a intensidade do estímulo foi controlada, retirou-se um fator de influência que possivelmente propiciava tempos de reação com diferenças maiores entre si, já que, somado ao parâmetro que se desejava analisar estava uma variável dependente de volume. Uma vez que volumes iguais provocam tempos de reação iguais (Florentine & Florentine, 2014; Kohfeld et al., 1981; May, Little, & Saylor, 2009; Mulsow & Finneran, 2013; Pfingst, et al., 1975; Stebbins, 1966) entende-se que, equalizando o volume, a variação de tempo de reação ocorreria em função unicamente do parâmetro investigado, no caso, a violação de expectativa. É razoável supor, assim, que as variações ocorram de forma mais sutil. Outra hipótese, embora se creia menos, é a da indissociabilidade entre o parâmetro intensidade e o parâmetro frequência nesse tipo de estudo, já que os estímulos considerados “naturais” não ocorreriam de forma equalizada como apresentado no experimento. Entretanto, Bharucha e Stoecking (1986, 1987) mostram que ainda que o espectro de acordes não contenha harmônicos presentes no estímulo alvo, o grau de associabilidade é preservado, sendo os acordes relacionados apresentam menores tempos de reação que os menos relacionados.

Uma possível forma de resolução da questão seria a amálgama dos experimentos realizados no presente estudo, utilizando-se a tarefa de avaliação com notas de 1 a 7 para seleção dos grupos e modificando-se a tarefa do experimento 2, possivelmente substituindo-a por uma tarefa de contorno melódico, como do

experimento 3. Entende-se que, assim, formar-se-iam grupos mais robustos, e os resultados seriam mais facilmente identificáveis.

Da mesma forma que ocorreu com o experimento 2, no experimento 3 também não foi possível realizar análise estatística mais profunda, provavelmente pelos mesmos motivos.

As gradações de graus de correlação entre avaliação e tempo de reação em relação aos grupos com diferentes expertises sugerem haver uma relação em duas vias envolvendo expertise e violação de expectativas como agentes de influência sobre as respostas de tempos de reação.

As correlações apresentadas, no entanto, instigam a novas investigações.

A impossibilidade de análise dos tempos de reação do experimento e não permitiram a discussão acerca da eficácia da escala como formadora de contexto tonal.

8. CONCLUSÃO

Os achados do presente estudo permitem concluir que:

1. Conjuntamente, as avaliações de finalização de escala corroboraram a hipótese de quantificação de hierarquia tonal de Krumhansl e Shepard (1979), evidenciando a influência do expertise no perfil de avaliações. Indivíduos com maior expertise tendem a avaliar de acordo com os graus de hierarquia tonal, enquanto que indivíduos sem conhecimento musical tendem a avaliar de forma inversamente proporcional à distância intervalar da nota esperada. O padrão de avaliação não foi alterado em função do tempo e da localidade de ocorrência do estudo.
2. O modelo utilizado por Krumhansl e Shepard (1979) juntamente com o processo de formação de agrupamentos baseada na análise de correlação possa ser utilizado como alternativa metodológica efetiva para seleção objetiva de amostras heterogêneas em contexto musical.
3. O controle sobre a intensidade é fator relevante em estudos que utilizam estímulos sonoros e tomada de tempo de reação. No presente estudo desenvolveu-se um método para controle individual de volume que entende-se, possa servir de opção á estudos em expectativa musical e à estudos que transcendam a área de cognição musical.
4. Os tempos de reação apresentam correlações com as avaliações em contexto tonal⁵⁷ que variam de acordo com o expertise dos participantes.
5. O Pure Data apresenta-se como opção flexível de baixo custo para moldagem de desenhos experimentais que utilizem estímulos sonoros.

⁵⁷ Segundo a definição de Krumhansl e Shepard (1979).

Anexo A

Termo de consentimento livre e esclarecido

Eu, _____
abaixo assinado, concordo em participar do experimento “Estudo das respostas fisiológicas e a expressão motora na percepção da música pós-tonal ”, como voluntário. Fui devidamente informado e esclarecido pelo pesquisador sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos e acredito estar suficientemente informado, ficando claro que minha participação é voluntária, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido o sigilo das informações e que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade. Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido deste voluntário para a participação neste estudo.

Data _____

Nome: _____

Assinatura do voluntário: _____

Anexo B Questionário de Avaliação Geral

Estudo das respostas fisiológicas e a expressão motora na percepção da música pós-tonal - Universidade de São Paulo

Nome: _____ Sexo: () F () M

Idade: _____ Telefone: () _____ e-mail: _____

() músico () não- músico

Você possui algum problema de saúde () Sim () Não

Se sim, qual? _____

Possui audição normal?

() Sim () Não

Você possui alguma doença, ou faz algum acompanhamento neurológico ou psiquiátrico? () Sim () Não

Se sim, qual? _____

Faz uso de rotina de algum medicamento? () Sim () Não

Se sim, qual? _____

Fuma? () Sim () Não Se sim, quantos cigarros por dia? _____

Faz uso de álcool? () raramente () em poucas ocasiões () todos finais de semana () todos os dias

Faz uso de algum tipo de droga ilícita? () Sim () Não

Se sim, qual droga? _____ Com qual frequência? _____

Possui conhecimento musical () Sim () Não

(Para os músicos)

Há quantos anos começou estudar música? _____

Há quantos anos atua como performer? _____

Qual seu instrumento de origem? _____

Qual seu instrumento atual? _____

São Paulo, _____ de _____ de _____.

Assinatura do (a) voluntário (a): _____

Anexo C

Questionário de Edinburgh (Adaptado)

Nome: _____

Data de nascimento: _____ Sexo: _____

Considera-se: () Destro () Canhoto () Ambidestro

Caso destro, já identificou em si alguma tendência a ser canhoto? () Sim () Não

Indique suas preferências manuais com relação às tarefas listadas abaixo.

- Se a preferência é forte o suficiente a ponto de você nunca tentar utilizar a outra mão, ao menos que forçado, marque “+ +” na coluna adequada.
- Se houver preferência por uma das mãos mas, eventualmente, seja naturalmente utilizada a outra mão, marque “+ +” e “+” nas colunas adequadas.
- Se em algum caso a preferência de uso das mãos for realmente indiferente, marque “+ +” em ambas as colunas.

Algumas das tarefas listadas requerem ambas as mãos. Nesses casos será indicado entre parênteses a parte da tarefa ou objeto requerido pela mão de preferência. Só deixe alguma questão em branco caso, realmente, não tenha nenhuma experiência com relação ao objeto ou tarefa requerida.

	Tarefa	Esquerda	Direita
1	Escrever		
2	Desenhar		
3	Jogar uma pedra		
4	Cortar com a tesoura		
5	Usar um pente		
6	Usar a escova de dentes		
7	Usar uma faca (sem garfo)		
8	Usar uma colher		
9	Usar um martelo		
10	Usar uma chave de fenda		

11	Usar uma raquete de ping-pong		
12	Usar a faca (com garfo)		
13	Usar uma vassoura (mão superior)		
14	Usar um rodo (mão superior)		
15	Acender um fósforo (mão do fósforo)		
16	Abrir um vidro com tampa (mão que segura a tampa)		
17	Distribuir cartas (mão que distribui)		
18	Colocar linha na agulha (mão que se move)		
TOTAL			

Com que pé, preferencialmente, chuta uma bola? () Esquerdo () Direito

Qual dos olhos você usa quando usa somente um deles? () Esquerdo () Direito

Quociente de lateralidade:
(Preenchido pelo pesquisador)

APÊNDICE A – Documentação de software “Equalização de volumes”

Interface

Seleção do estímulo e controle da interface

Apresentação do som de teste a 80 fons

Registro

APÊNDICE B - Experimento HT1

Início

Seleção

Relógio

Interface com arduino

Seleção de *foreperiod* e *probe tone*

Seleção randômica de *foreperiod* e *probe*

Apresentação de *probe tone*

Registro

Volumes

Escala Ascendente

Escala Descendente

REFERÊNCIAS

- Aarden, B. (2003). *Dynamic Melody expectations*. Doctoral Dissertation, The Ohio State University, Columbus, OH.
- Attneave, F. (1959). *Applications of Information Theory to Psychology*. New York : Holt-Dryden Book.
- Bear, M. F, Connors, B. W., Paradiso, M.A. (2008). *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 3ed. São Paulo: Artmed.
- Bharucha, J. J., & Stoeckig, K. (1986). *Reaction time and musical expectancy: priming of chords*. Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance, 12(4), 403–410.
- Bharucha, J. J., & Stoeckig, K. (1987). *Priming of chords: spreading activation or overlapping frequency spectra?* Perception & Psychophysics, 41(6), 519–524.
- Blood, A. J., Zatorre, R. J., Bermudez, P., & Evans, A. C. (1999). *Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions*, Nat. Neurosci. 2(4). pp.382-387.
- Blood, a J., & Zatorre, R. J. (2001). *Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 98(20), 11818–23.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (2000). *Affective reactions to acoustic stimuli*. Psychophysiology, 37(2), 204–15.

- Braithwaite, J., Watson, D., Robert, J., & Mickey, R. (2013). *A Guide for Analysing Electrodermal Activity (EDA) & Skin Conductance Responses (SCRs) for Psychological Experiments*. Birmingham: University of Birmingham
- Bueno, V. F. (2011). *Influência da atenção temporal em tarefas de discriminação visual e auditiva*. Tese de doutorado, Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Burden, R. L. & Faires, J. D. (2008). *Análise Numérica*. São Paulo: Cengage Learning.
- Canales, J. (2001). *Exit the Frog, Enter the Human: Physiology and Experimental Psychology in Nineteenth-Century Astronomy*. *The British Journal for the History of Science*, 34(2), 173–197.
- Capizzi, M., Correa, A., Wojtowicz, A., & Rafal, R. D. (2015). *Foreperiod priming in temporal preparation: Testing current models of sequential effects*. *Cognition*, 134(January), 39–49.
- Carlsen, J. C., Divenyi, P.I. e Taylor, J. A. (1970). *A Preliminary Study of perceptual expectancy in melodic configurations*. *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 22, 4–12.
- Collins, T., Tillmann, B., Barrett, F. S., Delbé, C., & Janata, P. (2014). *A combined model of sensory and cognitive representations underlying tonal expectations in music: from audio signals to behavior*. *Psychological Review*, 121(1), 33–65.
- D'Ausilio, A. (2012). *Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment*. *Behavior Research Methods*, 44(2), 305–313.

- Dawson, M. E., Schell, A. M., & Fillion, D. L. (2007). *The electrodermal system*. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (3rd ed., pp. 159-181). Cambridge, UK: Cambridge University Press
- Debru, C. (2001). *Helmholtz and the Psychophysiology of Time*. *Science in Context*, 14(3), 471–492.
- Debru, C. (2006). *Time, from psychology to neurophysiology. A historical view*. *Comptes Rendus - Biologies*, 329(5–6), 330–339.
- Deutsch, D. (1969). *Music recognition*. *Psychological Review*, 76(3), 300–307.
- Deutsch, D. (1984). *Octave equivalence and the immediate recall of pitch sequences*. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 2(1), 40–51.
- Figner, B., & Murphy, R. O. (2010). *Using skin conductance in judgment and decision making research*. In M. Schulte-Mecklenbeck, A. Kuehberger, & R. Ranyard (Eds.), *A handbook of process tracing methods for decision research*. New York, NY: Psychology Press
- Fletcher, H., & Munson, W. A. (1933). *Loudness its Definition, Measurement and Calculation*. *J. Audio Eng. Soc*, 5(1924), 82–108.
- Florentine, M., & Florentine, M. (2014). *A Quarter-Century's Perspective on a Psychoacoustical Approach to Loudness* In: A.N. Popper and R.R. Fay (eds.), *Perspectives on Auditory Research*, Springer Handbook of Auditory Research 50, 125–147.
- Florentine, M., Popper, A. N., & Fay, R. R. (2011). *Loudness* - Springer Handbook of Auditory Research. *Ear and Hearing* (Vol. 16).

- Frankland, B., & Cohen, A. J. (1990). *Expectancy profiles generated by major scales: Group differences in ratings and reaction time*. *Psychomusicology*, 9(2), 173–192.
- Friston, K. (1994). *Functional and effective connectivity: a synthesis*. *Hum. Brain Mapp*, 2, 56–78.
- Gould, S. J., & Vrba, E. S. (1982). *Exaptation - a missing term in the science of form*. *Paleobiology* 8:4- 15.
- Halpern, A. R., Zioga, I., Shankleman, M., Lindsen, J., Pearce, M. T., & Bhattacharya, J. (2017). *That note sounds wrong! Age-related effects in processing of musical expectation*. *Brain and Cognition*, 113(January), 1–9.
- Hoffmann, C. H. (2007). *Constant differences: Friedrich Wilhelm Bessel, the concept of the observer in early nineteenth-century practical astronomy and the history of the personal equation*. *British Society for the History Of Science*, 40(3), 333–365.
- International Standardization Organization, *ISO 226:2003(E): Acoustics—Normal Equal-Loudness-Level Contours*, Geneva, Switzerland.
- Janata, P. & Reisberg, D. (1988) *Response-Time Measures as a Means of Exploring Tonal Hierarchies*. *University of California Press Stable*, 6(2), 161–172.
- Jones, M. R. (1981). *Music as a stimulus for psychological motion: Part I. Some determinants of expectancies*. *Psychomusicology: A Journal of Research in Music Cognition*, 1(2), 34–51.

- Juslin, P. N., & Västfjäll, D. (2008). Emotional responses to music: the need to consider underlying mechanisms. *The Behavioral and Brain Sciences*, 31(5), 559-75-621.
- Koellreutter, H. J. (1986). *Harmonia Funcional*. 2ª ed. São Paulo: Ricordi.
- Kohfeld, D. L., Santee, J. L., & Wallace, N. D. (1981). *Loudness and reaction time: I. Perception & Psychophysics*, 29(6), 535–549.
- Krumhansl, C. L., & Shepard, R. N. (1979). *Quantification of the hierarchy of tonal functions within a diatonic context*. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 5(4), 579–94.
- Marmel, Frédéric; Tillmann, B.; Dowling, W. J. (2008). *Tonal expectations influence pitch perception*. *Perception & Psychophysics*, 70(5), 841–852.
- Marmel, F., Tillmann, B., & Delbé, C. (2010). *Priming in melody perception: Tracking down the strength of cognitive expectations*. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(4), 1016–1028.
- May, B. J., Little, N., & Saylor, S. (2009). *Loudness perception in the domestic cat: Reaction time estimates of equal loudness contours and recruitment effects*. *JARO - Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 10(2), 295–308.
- McRoberts, M. (2011). *Arduino Básico*. São Paulo: Novatec Editora Ltda.
- Medina, J. M., Wong, W., Diaz, J. A., Colonius, H. (2015). *Advances in modern mental chronometry*. *Frontiers in Human Neuroscience, Frontiers*, v. 9. 256, p. 5-7.

- Menon, V., & Levitin, D. J. (2005). *The rewards of music listening: response and physiological connectivity of the mesolimbic system*. *NeuroImage*, 28(1), 175–84.
- Mero, A., & Komi, P. V. (1990). *Reaction time and electromyographic activity during a sprint start*. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(1–2), 73–80.
- Meyer, D. E., Osman, A. M., Irwin, D. E., & Yantis, S. (1988). *Modern mental chronometry*. *Biological Psychology*, 26(1–3), 3–67.
- Meyer, L. B. (1956). *Emotion and meaning in music*. Chicago: University of Chicago Press.
- Meyer, L. B. (1957). *Meaning in Music and Information Theory*. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, Vol. 15, No. 4, pp. 412-424.
- Mithen, S. (2009). *The music instinct: the evolutionary basis of musicality*. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 3–12.
- Mulsow, J., & Finneran, J. J. (2013). *Auditory reaction time measurements and equal-latency curves in the California sea lion (Zalophus californianus) and bottlenose dolphin (Tursiops truncatus)*. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, Vol. 19, 010003, 1-6.
- Muniz, M. (2013). *Implicações dos mecanismos de recompensa e cognição implícita na formação de expectativas e manutenção do caráter funcional da música tonal*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- Niemi, P., & Näätänen, R. (1981). *Foreperiod and simple reaction time*. Psychological Bulletin, 89(1), 133–162.
- Oldfield, R. C. (1971). *The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory*. Neuropsychologia, 9(1), 97–113.
- Pachella, R. G. (1973). *The interpretation of reaction time in information processing research*. Michigan: University of Michigan.
- Pain, M. T. G., & Hibbs, A. (2007). *Sprint starts and the minimum auditory reaction time*. Journal of Sports Sciences, 25(1), 79–86.
- Parmanen, J. (2012). *Some Reasons to Revise the International Standard ISO 226: 2003: Acoustics — Normal Equal-Loudness-Level Contours*. Open Journal of Acoustics, 2, 143–149.
- Pearce, M. T. (2007). *Early Applications of Information Theory to Music*. Recuperado em 10 de janeiro de 2017 de <http://webprojects.eecs.qmul.ac.uk/marcusp/notes/music-information-theory.pdf>.
- Pfingst, E; Hienz, R., Kimm, J., Miller, J. (1975). *Reaction-time procedure for measurement of hearing. I. Suprathreshold functions**, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 57, No. 2, 421–430.
- Plant, R. R., Hammond, N., & Whitehouse, T. (2003). *How choice of mouse may affect response timing in psychological studies*. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers: A Journal of the Psychonomic Society, Inc, 35(July), 276–284.

- Plant, R. R., & Turner, G. (2009). *Millisecond precision psychological research in a world of commodity computers: new hardware, new problems?* Behavior Research Methods, 41(3), 598–614.
- Posner, M. I. (1986). *Chronometric explorations of mind*. 2 ed. New York: Oxford University Press, Inc.
- Posner, M. I. (2005). *Timing the brain: Mental chronometry as a tool in neuroscience*. PLoS Biology, 3(2), 0204–0206.
- Ranvaud, R., Thompson, W. F., Silveira-Moriyama, L., & Balkwill, L.-L. (2001). *The speed of pitch resolution in a musical context*. The Journal of the Acoustical Society of America, 109(6), 3021.
- Rickard, N. S. (2004). *Intense emotional responses to music: a test of the physiological arousal hypothesis*. Psychology of Music, 32(4), 371–388.
- Roederer, J. G. (1998). *Introdução à física e psicofísica da música*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- Rohrmeier, M. a, & Koelsch, S. (2012). *Predictive information processing in music cognition. A critical review*. International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology, 83(2), 164–75.
- Sanford, E. (1888). *Personal Equation*. The American Journal of Psychology, 2(3), 403–430.
- Schellenberg, E. G., Peretz, I., & Vieillard, S. (2008). *Liking for happy- and sad-sounding music: Effects of exposure*. Cognition & Emotion, 22(2), 218–237.

- Schlittenlacher, J., & Ellermeier, W. (2015). *Simple reaction time to the onset of time-varying sounds*. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 77(7), 2424–2437.
- Schmidgen, H. (2002). Of frogs and men: *The origins of psychophysiological time experiments, 1850-1865*. *Endeavour*, 26(4), 142–148.
- Sperandio, D., Mendes, J. T., Monken e Silva, L. H. (2003). *Cálculo numérico: características matemáticas e computacionais dos métodos numéricos*. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Squire, L. R., & Kandel, E. R. (2003). *Memória: Da mente às moléculas* (C. Dalmaz e J. A. Quillfeldt, Trad.). Porto Alegre: Artmed.
- Stebbins, W. C. (1966). *Auditory reaction time and the derivation of equal loudness contours for the monkey*. *J Exp Anal Behav*, 9(2), 135–142.
- Suzuki, Y.; Takeshima, H. Ozawa, A; Kumagai, M. & Sone, T. (2000). *Determination of new equal-loudness level contours based on recent data with a loudness function model*. *InterNoise 2000, Nice, France*. p. 1-7
- Suzuki, Y., & Takeshima, H. (2004). *Equal-loudness-level contours for pure tones*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116(2), 918–933.
- Thomaschke, R., Kiesel, A., & Hoffmann, J. (2011). *Response specific temporal expectancy: Evidence from a variable foreperiod paradigm*. *Attention, Perception & Psychophysics*, 73(7), 2309–22.
- Tillmann, B., Bharucha, J. J., & Bigand, E. (2000). *Implicit learning of tonality: A self-organizing approach*. *Psychological Review*, 107(4), 885–913.

Tillmann, B., Poulin-Charronnat, B., & Bigand, E. (2014). *The role of expectation in music: from the score to emotions and the brain*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science, 5(1), 105–113.

Ulrich, R., & Giray, M. (1989). *Time resolution of clocks: Effects on reaction time measurement - good news for bad clocks*. British Journal of Mathematical and Statistical Psychology, 42, 1–12.