

Projeto de Mestrado

Título: A Física da música no Renascimento: uma abordagem histórico-epistemológica

Rafael Andrade Pereira

Rafael_Andrade_Pereira@hotmail.com.br

Abril de 2007

1.0 Resumo:

Este trabalho objetiva pesquisar sob uma perspectiva histórico-epistemológica o desenvolvimento da acústica musical no Renascimento. Tal investigação será especialmente focada na busca de indicadores da importância da verificação experimental na produção do conhecimento acústico nesse período.

Neste sentido, torna-se fundamental que a pesquisa historiográfica forneça subsídios teóricos para a fundamentação da transição de uma ciência musical centrada em um dogmatismo aritmético para uma ciência musical, que tem a verificação experimental como critério relevante de falseamento de suas teorias. Com o intuito de extrair os indicadores mencionados, pretende-se analisar assim tratados teórico-musicais desse período sob uma perspectiva das relações entre a física, a matemática e a música.

Do ponto de vista educacional, o presente projeto pretende, por meio de uma exposição didática no museu Estação Ciência, reproduzir estruturalmente experimentos esclarecedores de conceitos acústicos emergentes na Revolução Científica, fazendo uso de recursos modernos. Como resultado bibliográfico de tais reflexões, pretende-se produzir material didático sobre o desenvolvimento da relação entre física, matemática e música, sob uma perspectiva histórico-epistemológica.

2.0 Introdução e Justificativa:

Em junho de 2006, finalizei minha graduação no Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Durante este processo desenvolvi um trabalho de iniciação científica cujo tema foi “O Desenvolvimento da Série Harmônica sob uma ótica acústico-matemática durante a Revolução Científica: um estudo de Harmonia”. Tal trabalho, apoiado pela FAPESP, culminou na elaboração do projeto de ensino da relação entre a física, a matemática e a música, bem como no projeto de exposição didática a ser realizada na Estação Ciência com apoio do CNPq.

Concentrando-se em aspectos vinculados ao desenvolvimento histórico da acústica musical, a pesquisa de iniciação científica incluiu ainda um estudo do Tratado de Rameau à luz da relação entre Série Harmônica e Série de Fourier, bem como estabeleceu um conjunto de estratégias didáticas visando tornar acessível os resultados da pesquisa ao público em geral. Neste sentido, organizou-se uma exposição didática e um módulo de ensino contemplando a estrutura de meu trabalho.

Além disso, o trabalho de iniciação científica incluiu encontros periódicos com um grupo de pesquisa formado pelos orientandos do professor Oscar. Todos os participantes estudam aspectos vinculados à história/epistemologia da ciência e suas relações com a interface matemática e música. Nestes encontros semanais, cada aluno apresentava periodicamente um seminário sobre sua pesquisa conforme cronograma estabelecido no início de cada semestre.

Tendo em vista a peculiaridade do tema do presente projeto – dado, por exemplo, seu caráter fortemente interdisciplinar entre áreas a princípio distantes – considero de grande relevância para minha pesquisa acadêmica a troca de experiências entre os membros do grupo de pesquisa, bem como a participação nos congressos da área, dinâmica essa que se pretende dar continuidade no projeto de mestrado.

3.0 Objetivos:

- Reunir contribuições históricas necessárias à compreensão da relação entre física, matemática e música no Renascimento.
- Extrair de registros históricos pertinentes, indicadores da presença da verificação experimental na produção de conhecimento acústico durante o Renascimento.

- 49 - Sob uma perspectiva físico-matemática, analisar o conceito de harmonia na música teórica
 50 ocidental, tendo por base conceitos físicos tais como batimento, ressonância, Série Harmônica,
 51 etc. Nesse sentido, avaliar o quanto as regras de harmonia estabelecidas nos tratados teórico-
 52 musicais do período em questão são passíveis de ser compreendidas à luz de conceitos físico-
 53 experimentais.
- 54 - Como parte do trabalho de campo, abordar, por meio da exposição didática no museu Estação
 55 Ciência, fenômenos relevantes para a compreensão racional da acústica musical renascentista.
- 56 - Produzir material didático sobre o desenvolvimento da relação entre física, matemática e música
 57 à luz de conceitos epistemológicos concebidos por filósofos da ciência tais como Thomas
 58 Kuhn, Karl Popper e Gaston Bachelard.

59 3.0 Plano de trabalho:

60 O tema do meu projeto de mestrado consiste essencialmente em um estudo sobre harmonia e a
 61 física da música no Renascimento sob uma perspectiva histórico-epistemológica. Neste sentido, faz-se
 62 necessário um estudo histórico da acústica apoiada na epistemologia de autores tais como Thomas
 63 Kuhn, Gaston Bachelard e Karl Popper.

64 Para fins de concretizar o estudo mencionado serão realizadas as leituras destes autores, visando
 65 verificar se conceitos tais como Revolução Científica, Paradigma, Crise Epistemológica – enunciados
 66 por Thomas Kuhn –, obstáculo epistemológico (Gaston Bachelard) e falseamento (Karl Popper) são
 67 transferíveis ao quadro teórico a luz do qual será analisada a história da acústica. Neste sentido, serão
 68 reunidos em um “glossário epistemológico” conceitos pertinentes retirados das obras dos autores
 69 citados. Segue abaixo uma prévia do trabalho mencionado:

70 ■ Paradigma (T. Kuhn): Conjunto de realizações científicas e conhecidas por uma
 71 comunidade por algum tempo, como proporcionando os fundamentos para sua prática posterior.

72 ■ Ciência Normal (T. Kuhn): Pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações
 73 científicas passadas (paradigma), ou seja, trabalho de acabamento sobre um paradigma estabelecido.

74 ■ Revolução Científica (T. Kuhn): Episódios de desenvolvimento não cumulativo, nos
 75 quais um paradigma mais antigo é total ou parcialmente substituído por um novo incompatível com o
 76 anterior.

77 É válido ressaltar que estes termos foram retirados da obra “*A estrutura das Revoluções Científicas*”
 78 de Thomas Kuhn, no entanto tais conceitos aparecem muitas vezes nesta obra o que implica na
 79 necessidade de escolher a definição considerada mais representativa da concepção do autor.

80 Uma das diferenças entre a epistemologia de Bachelard e de Kuhn foi pontuada por Epstein na
 81 seguinte afirmação:

82 “Bachelard apenas reconhece o pensamento verdadeiramente científico na ruptura, na
 83 descontinuidade. A ciência é, para ele, sempre (na terminologia de Kuhn) a ciência extraordinária,
 84 jamais a ciência normal. A descontinuidade é, portanto, o centro das reflexões suas, que concerne à
 85 epistemologia.. Levada ao limite, a descontinuidade do saber científico toma o aspecto de uma
 86 conversão da mente em suas tentativas de apreender a realidade”

87 Além disso, outro projeto epistemológico importante para esta pesquisa é a obra “*A lógica da*
 88 *Pesquisa Científica*” de Karl Popper. No racionalismo crítico de Popper destaca-se o conceito de
 89 falseamento à luz do qual pretende-se analisar o papel da análise experimental ao longo da história da
 90 acústica.

91 O racionalismo crítico é o sistema filosófico proposto por Karl Raimund Popper para a
 92 epistemologia. Um conceito central nesta teoria é a necessidade da *falseabilidade* dos sistemas teóricos.
 93 Eles devem ser averiguados pela observação. Se a observação não repudiar a teoria isso não significa no
 94 entanto que a teoria possa ser considerada como válida.

95 A falseabilidade foi desenvolvida inicialmente por Karl Popper no século XX. Popper ressaltou
 96 que dois tipos de enunciados são de particular valor para os cientistas, sendo o primeiro enunciados de
 97 observações, tais como "este cisne é branco". Na teoria da lógica chamamos a estes, enunciados

98 existenciais singulares, uma vez que afirmam a existência de uma coisa em particular. Eles podem ser
99 analisados na forma: existe um x que é cisne e é branco.

100 O segundo tipo de enunciado de interesse para os cientistas categoriza todas as instâncias de
101 alguma coisa, por exemplo "todos os cisnes são brancos". Na lógica chamamos a estes enunciados
102 universais. Eles são normalmente analisados na forma para todos os x , se x é um cisne então x é
103 branco.

104 "Leis" científicas (mais corretamente chamadas teorias) são normalmente tidas como sendo
105 desta forma. Talvez a questão mais difícil na metodologia científica é, como é que podemos chegar às
106 teorias partindo das observações? Como podemos inferir de forma válida um enunciado universal a
107 partir de enunciados existenciais (por muitos que sejam)?

108 A metodologia indutivista supunha que se pode passar de uma série de enunciados singulares
109 para um enunciado universal. Ou seja, que se pode passar de um "este é um cisne branco", "ali está
110 outro cisne branco", e por aí em diante, para um enunciado universal como "todos os cisnes são
111 brancos". Este método é claramente inválido em lógica, uma vez que será sempre possível que exista
112 um cisne não-branco que por algum motivo não tenha sido observado.

113 Este era o Problema da indução, identificado por David Hume no século XVIII e cuja
114 resolução é proposta por Popper. Popper defendeu que a ciência não poderia ser baseada em tal
115 inferência. Ele propôs a falseabilidade como a solução do problema da indução. Popper viu que apesar
116 de um enunciado existencial singular como "este cisne é branco" não pode ser usado para afirmar um
117 enunciado universal, ele pode ser usado para mostrar que um determinado enunciado universal é falso:
118 a observação existencial singular de um cisne negro serve para mostrar que o enunciado universal
119 "todos os cisnes são brancos" é falso.

120 Além do estudo epistemológico, este trabalho abarca a reunião de contribuições históricas da
121 interface física, matemática e música. Para este fim serão necessários estudos de tratados teórico-
122 musicais desenvolvidos ao longo do renascimento. Tal estudo remete a necessidade de um breve retorno
123 à Grécia Antiga.

124 Pode-se considerar um dos primeiros registros da história da acústica o experimento do
125 Monocórdio realizado pelos pitagóricos. Tal experimento consistiu em esticar uma corda e com um
126 cavalete alterar seu comprimento, permitindo relacionar intervalos musicais com razões da corda
127 determinada pela posição do cavalete.

128 Na tradição Pitagórica, esse resultado generalizou-se para diferentes fontes acústicas com base
129 num simbolismo numérico. Um exemplo interessante de tal força do dogmatismo aritmético se reflete
130 ainda em teóricos do século XV, tais como Franchino Gaffurio. No capítulo chamado "A investigação
131 e descoberta das consonâncias musicais" de seu *Theoretica musica* de 1492, Gaffurio apresenta
132 graficamente a história de Boécio sobre o experimento de Pitágoras no monocórdio -- que resultou
133 para a corda na relação entre as razões **1:2**, **2:3** e **3:4** e os intervalos musicais de oitava, quinta e quarta
134 respectivamente -- , agora generalizada para outras fontes sonoras tais como copos, sinos, flautas etc.



135

136

Dentre as limitações do sistema musical pitagórico destacam-se:

137

138

139

1) rígida distinção entre consonância e dissonância, utilização somente de razões comensuráveis, ou anacronicamente, números racionais na expressão de intervalos musicais

140

141

142

2) A inferência de que os resultados encontrados para a corda valiam em qualquer outro sistema físico que emitisse som (copos com água, sinos, etc...Como mostra a representação do Gaffurius).

143

144

Tais limitações são fortemente representativas da doutrina pitagórica segundo a qual todo o conhecimento reduzir-se-ia a relações numéricas, onde número nesse contexto significa número inteiro.

145

146

147

148

149

150

Tal experimento informa não somente que às consonâncias perfeitas 8ª, 5ª e 4ª subjazem razões simples 1:2, 2:3 e 3:4, mas ainda que à composição de intervalos musicais subjaz a composição de razões matemáticas, fundamento da construção da escala pitagórica. Em outras palavras, um importante legado do experimento de Pitágoras consiste na percepção de que *subir* ou *descer* um intervalo musical corresponde respectivamente a *compor* ou *decompor* o comprimento da corda produtor da nota *mais grave* ou *mais aguda* pelo fator correspondente ao intervalo referido.

151

152

153

154

155

156

O critério pitagórico para construção de escala resulta na obtenção de quintas compostas reduzidas posteriormente a notas equivalentes na oitava, ou seja, supondo que uma nota inicial *dó* é produzida por 1, sua quinta será produzida por 2:3, equivalente à nota *sol*. A quinta do *sol*, por sua vez, por $(2:3)(2:3) = (4:9)$, que reduzido à oitava original resulta em 8:9, equivalente à nota *ré*. A quinta de *ré* será produzida por $(8:9)(2:3) = 16:27$, que equivale à nota *lá*, e assim por diante, resultando na seguinte escala diatônica:

157

158

159

160

<i>Dó</i>	<i>ré</i>	<i>mi</i>	<i>fá</i>	<i>sol</i>	<i>lá</i>	<i>si</i>	<i>dó</i>
1	8:9	64:81	3:4	2:3	16:27	128:243	2

Os pitagóricos justificaram a subjacência de pequenos números inteiros às consonâncias pelo fato de que os números 1, 2, 3 e 4 geravam toda a perfeição, na medida em que consideravam o número quatro

161 como a origem de todo o universo, todo o mundo material, representando a matéria em seus quatro
162 elementos: o fogo, o ar, a terra e a água.

163 A tradição musical pitagórica foi transmitida para a Idade Média principalmente através do
164 tratado *De Institutione musica*, escrito no início do século VI d.C. por Boécio (475-524). Tal obra
165 influenciou a grande maioria de tratados teórico-musicais da Idade Média determinando a
166 predominância do pitagorismo na música teórica medieval e como conseqüência uma abordagem
167 matemático-especulativa como base teórica para resolução dos problemas teórico-musicais.

168 As relações entre comprimentos da corda e intervalos musicais estabelecidas pelos
169 pitagóricos vigoraram de forma generalizada até que Vincenzo Galilei (1520-1591) as criticasse
170 mostrando que tais relações variavam não somente segundo o parâmetro medido na corda -- tensão,
171 densidade linear, etc. --, mas de maneira geral, segundo o parâmetro medido em qualquer fonte
172 sonora. Intensificada no decorrer do século XVII, tal perspectiva matemático-experimental
173 representa a semente de uma mudança significativa de enfoque sobre a compreensão de conceitos
174 acústico-musicais tais como consonância, Série Harmônica, etc.

175 A crítica de Vincenzo Galilei é representativa de um novo paradigma científico, no qual o
176 dogmatismo aritmético presente na tradição pitagórica é substituído por uma prática científica
177 vinculada à análise experimental. Esta mudança paradigmática no desenvolvimento científico é um
178 dos aspectos que esta pesquisa visa evidenciar, a partir da extração, de fontes historiográficas, de
179 elementos indicadores da valorização da experiência na ciência musical, tal como a crítica de
180 Vincenzo Galilei à generalização dos resultados do monocórdio sem base experimental.

181 Com a emergência da Polifonia surgem problemas entre teoria e prática, cujas pretensões
182 exigiam uma fundamentação teórica incongruente com os pressupostos pitagóricos, segundo os quais
183 consonâncias musicais eram geradas por razões entre os números 1, 2, 3 e 4 e intervalos musicais
184 somente por razões comensuráveis. De fato, o próprio experimento do monocórdio, que revela que os
185 intervalos de quinta e oitava estão relacionados respectivamente com razões 2:3 e 1:2, já contém
186 potencialmente o problema levantado pelo advento da Polifonia na medida em que a partir de seus
187 resultados, constata-se que não existem m e n , inteiros positivos tais que $(2/3)^m$ seja igual a $(1/2)^n$, o que
188 implica na impossibilidade de encaixar um número inteiro de ciclos de quintas em um número inteiro
189 de ciclos de oitavas.

190 Tal impossibilidade resultaria na *coma pitagórica*, que representa a „semente da imperfeição“, de
191 natureza semelhante à *irracionalidade* na matemática e impossibilidade de ajuste preciso entre ciclos
192 naturais da Lua e da Terra em torno do Sol na astronomia. Ou seja, podemos dizer que os doze
193 semitons não “cabem” exatamente em uma oitava, assim como 12 meses de trinta dias não “cabem”
194 exatamente no ano de 365 dias. Desse modo, tanto no calendário quanto na teoria musical, simetria e
195 pureza são impossíveis, de tal forma que ou sistematizamos o semitom diferente da experiência de
196 Pitágoras, sendo assim todos os intervalos musicais impuros, ou criamos um intervalo assimétrico, com
197 semitons variando de tamanho. A percepção de tal problema é completamente análoga ao problema
198 dos calendários, ou seja, ou desrespeitamos o ciclo lunar de aproximadamente 30 dias, ou criamos onze
199 meses de trinta dias (portanto, puros) e um mês de trinta e cinco dias (portanto assimétrico). Tais
200 observações estabeleceriam uma melhor compreensão da discussão sobre a relação entre o advento da
201 Polifonia e a necessidade de um Temperamento, uma vez que a coma pitagórica e as outras geradas a
202 partir das tentativas de construção de escalas musicais baseadas em números racionais representam o
203 motor para o desenvolvimento dos diversos temperamentos.

204 Uma possível solução para este problema é o Temperamento Igual, que tem como característica
205 fundamental o fato da relação matemática entre as frequências de notas de um mesmo intervalo ser
206 sempre igual, ou seja, a razões entre as frequências de duas notas distantes uma da outra de um
207 semitom é sempre a mesma, não importando quais duas notas sejam (ex: *dó* e *dó#* e ou *dó* e *dó* bemol ou
208 sol e sol#) -- o que implica que *fa#* e *sol* bemol são equivalentes.

209 Em outras palavras o Temperamento Igual consiste em dividir a oitava em 12 partes iguais, o
210 que resulta no encontro entre 12 ciclos de quinta e 7 ciclos de oitava. Neste caso, a razão relacionada

211 ao intervalo de quinta seria $1:2^{7/12}$, que numericamente é aproximadamente 1,4983, e não 1,5
212 correspondente à razão 3:2 como propunha Pitágoras.

213 O advento da Polifonia abalou os fundamentos do pitagorismo fortemente presente na tradição
214 musical da Idade Média, desencadeando a partir das tentativas de sistematização de uma base teórica
215 congruente com tal expressão cultural um afastamento do pitagorismo, em favor de uma maior
216 aproximação entre teoria e prática, que se intensifica no Renascimento.

217 Dado a importância do temperamento igual na música teórica, tal tratamento torna-se
218 imprescindível para a compreensão da acústica musical. Além disso, no âmbito desta pesquisa tal
219 conceito mostra-se fundamental a medida que aproxima a música teórica da música prática, denotando
220 desta forma a necessidade de validar o experimento como parte essencial do desenvolvimento
221 científico.

222 No século XVII o desenvolvimento da acústica deu um salto qualitativo na medida que a visão
223 da ciência mudou sua ótica, deixando mais de lado os dogmas aritméticos e dando mais enfoque as
224 evidências experimentais. Nesse período grandes físicos e matemáticos começaram a dar mais atenção
225 ao tema, tais como Marin Mersenne, John Wallis (1616-1703), Johannes Kepler (1571-1630), Vincenzo
226 Galilei, Galileu Galilei (1554-1642), René Descartes (1596-1650), Christiaan Huygens (1629-1695),
227 Joseph Saveur, Isaac Newton(1642-1727)...

228 Com o trabalho destes cientistas a acústica passou a apresentar fundamentação empírica,
229 inicialmente com Mersenne que além de estabelecer, juntamente com Galileu, a lei de Mersenne -- em
230 uma corda vibrante, a frequência é inversamente proporcional ao comprimento de corda, é
231 proporcional à raiz quadrada da tensão e inversamente proporcional à raiz quadrada da densidade linear
232 da corda --, começou a relacionar diretamente a altura de uma nota emitida por uma fonte com sua
233 frequência de vibração. Isso dava início a uma resposta ao problema proposto por Vincenzo Galilei,
234 que mostrava a insuficiência de razões de números sem base experimental para a determinação de
235 intervalos musicais, como propunham os pitagóricos.

236 Ainda no século XVII, Mersenne levantou um novo paradoxo que consistia em saber se um
237 mesmo objeto poderia vibrar em várias frequências simultaneamente. Tal paradoxo só pôde ser
238 resolvido no final desse século quando Joseph Saveur propôs o Princípio da Superposição. Ao mesmo
239 tempo, esse problema motivou a busca de explicações para o conceito de Série Harmônica. Mais tarde
240 o conceito de Série Harmônica tornou-se fundamental para diferenciar timbres.

241 Produzir um som em um instrumento musical significa colocar algum elemento em vibração
242 para que esta vibração seja transmitida ao ar. A frequência ou altura do som produzido vai depender
243 das características do meio vibratório (uma corda, coluna de ar, etc); os sistemas físicos não vão vibrar
244 de uma única forma, mas sim emitindo diversas frequências, todas múltiplas da nota fundamental. Estas
245 outras frequências são os harmônicos ou parciais, e sua composição (Série Harmônica) é o que vai
246 caracterizar o timbre do instrumento.

247 Por volta de 1673, Christiaan Huygens, influenciado por Mersenne, adquiriu interesse por
248 harmônicos. Ele estimou frequências absolutas e estabeleceu a relação entre comprimento de onda e
249 comprimento da corda. Em 1677, o matemático John Wallis publicou um artigo mostrando
250 experimentalmente que os harmônicos gerados por uma corda estavam relacionados com seus nós.

251 No início do século XVIII, Joseph Saveur propôs o início de uma nova ciência que se poderia
252 chamar acústica. Ele mostrou que um mesmo objeto pode produzir diferentes frequências
253 simultaneamente, o que o levou a conceber o Princípio da Superposição para ondas sonoras. O
254 Princípio da Superposição consiste em dizer que a forma de onda representante da emissão de dois ou
255 mais sons simultaneamente é a soma das formas de onda representantes de cada um dos sons
256 envolvidos. Particularmente, a frequência de uma nota dada é a somatória das frequências de cada um
257 de seus harmônicos.

258 Ainda no princípio do século XVIII, o compositor e teórico musical Jean-Philippe Rameau
259 (1683-1764) sistematizou em seu *Traité de Harmonie* (1722) grande parte da teoria harmônica de seu
260 tempo. O primeiro capítulo dessa obra trata dos fundamentos matemáticos presentes na música. Os

261 capítulos seguintes tratam de natureza e propriedades de acordes e tudo aquilo que é necessário para
 262 fazer música perfeita, princípios de composição e de acompanhamento.

263 A Série Harmônica, o princípio da superposição e a fórmula de Mersenne/Galileu mostram-se
 264 conceitos fundamentais para o estudo da consonância/dissonância do ponto de vista físico. Neste
 265 sentido, tal descrição evidencia a necessidade do presente trabalho contemplar o tratamento destes
 266 fenômenos, bem como sua relação com a compreensão da música teórica. Tais conceitos vinculados a
 267 fenômenos físicos tais como batimento, ressonância, etc... constituem as ferramentas básicas para uma
 268 interpretação matemática das regras de harmonia presentes na música teórica.

269 Na perspectiva da composição de intervalos Rameau sistematiza a partir da oitava, quarta e
 270 quinta todos os intervalos da escala diatônica, já que comendo razões com tais intervalos
 271 fundamentais, o mesmo pode produzir qualquer outra nota presente em tal escala. Por exemplo, a
 272 segunda pode ser escrita como uma quinta mais uma quinta menos uma oitava: $2^a = 5^a + 5^a - 8^a$, ou seja
 273 $[(2/3) \times (2/3)] / 1/2 = 8/9$, que é justamente a relação de um tom, desta forma subindo um tom a partir
 274 da segunda temos uma terça maior, ou $3^a = 2^a + 2^a$ logo a $3^a = [8/9]^2 = 64/81$, a sexta é uma quinta mais
 275 um tom, $6^a = 5^a + 2^a = [(2/3) \times (8/9)] = 16/27$ e a sétima é uma sexta mais um tom, ou
 276 $7^a = 6^a + 2^a = (16/27) \times (8/9) = 128/243$.

277 Após o desenvolvimento da relação entre razões, proporções e a formação de intervalos
 278 musicais Rameau passou a fazer uma análise de cada um dos intervalos, tal tratamento seguiu com a
 279 oitava, quinta, quarta, segunda, terça, sexta e sétima. No entanto, apesar de separar em ordem crescente
 280 os intervalos mais e menos consonantes, talvez um dos pontos mais brilhantes de seu trabalho tenha
 281 sido sua análise sobre a oitava, já que neste momento Rameau apresenta um argumento amparado
 282 numa idéia intuitiva de ressonância para tratar a oitava como uma replicação, desta forma harmonizar
 283 um intervalo x ou um intervalo $2 \cdot x$ passa a ser o mesmo problema, ou seja, cada vez que dobramos uma
 284 determinada frequência esta nova frequência representa o mesmo intervalo musical. Tal constatação
 285 traz um novo tratamento para a teoria musical, pois a partir deste momento os acordes dó-mi-sol, mi-
 286 dó-sol e sol-dó-mi passam a ser tratados como inversões do mesmo acorde.

287 Rameau estava ciente do movimento transformador da acústica musical no século XVII e isso
 288 se traduz em seu tratado que além de possuir um tratamento matemático do som como os tratados
 289 tradicionais, apresenta regras de procedimento musical inovadoras quando comparado com os tratados
 290 de sua época.

291 A síntese histórica apresentada, bem como a análise preliminar do Tratado de Harmonia de
 292 Rameau sustentam parte fundamental desta pesquisa, já que o aprofundamento das questões históricas,
 293 a compreensão da música teórica do ponto de vista físico-matemático, a extração de elementos que
 294 remontem a mudança paradigmática atrelada ao papel do experimento na ciência do renascimento e a
 295 elaboração de recursos instrucionais que tornem tais conceitos acessíveis aos estudantes do ensino
 296 médio compõe os objetivos centrais deste trabalho. Portanto considera-se que a leitura histórica do
 297 desenvolvimento dos conceitos que vinculam a acústica à música parte essencial deste trabalho.

298 **5.0 Cronograma para a execução do projeto e procedimentos operacionais**

299 **5.1 Procedimentos Operacionais**

300 Além da leitura da bibliografia direcionada pelo orientador e dos encontros semanais com o
 301 orientador, onde ocorrem debates e esclarecimento de dúvidas sobre tais leituras, serão realizados
 302 encontros semanais com o grupo de pesquisa. Nestes encontros os alunos de pós-graduação do Prof^o
 303 Oscar João Abdounur apresentarão seminários (um aluno por semana ciclicamente) sobre o estado
 304 atual de suas pesquisas. Tais encontros já configuraram uma parte fundamental do desenvolvimento
 305 desta pesquisa ao longo de meu trabalho de iniciação científica, dado que os trabalhos apresentados
 306 pelos outros alunos tiveram influencia direta nas minhas concepções sobre história, matemática, e
 307 principalmente despertou meu interesse pela epistemologia.

308 As discussões ocorridas durante o esclarecimento de dúvidas bem como durante a apresentação
 309 dos seminários provieram da leitura dos textos indicados pelo Prof. Oscar. Tais textos forneceram
 310 subsídios básicos para atingir o atual estado da pesquisa, bem como redirecionaram algumas frentes
 311 inicialmente estabelecidas.

312 Além disso, no trabalho desenvolvido em minha iniciação científica foram desenvolvidas entre
313 outras coisas as seguintes atividades:

314 • Estrutura do projeto da exposição aprovado pelo Cnpq e pela Estação Ciência, incluindo o início
315 do desenvolvimento dos cartazes, textos, animações e experiências que serão apresentados a
316 exposição.

317 • Leituras de livros importantes para a compreensão não só do conceito da série harmônica, mas sim
318 uma contextualização geral de como tal conceito foi evoluindo historicamente. Tais leituras deverão
319 ser utilizadas futuramente para escrever um para-didático com enfoque principal na abordagem
320 histórica.

321 • Análise das regras de harmonia presentes no tratado de Harmonia de Rameau (1722), a luz do
322 conceito da série harmônica.

323 • Descrição das contribuições históricas do período da Revolução Científica que deram subsídios à
324 compreensão matemática do conceito de Série Harmônica.

325 • Apresentação do trabalho no 11º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP, no 6º
326 Seminário Nacional de História da Matemática, no 10º Seminário Nacional de História da Ciência e
327 Tecnologia, no 1º Seminário Paulista de História e Educação Matemática., no 13º Simpósio
328 Internacional de Iniciação Científica da USP e no 7º Seminário Nacional de História da Matemática.

329 A divulgação dos resultados do trabalho desenvolvido é considerada um dos principais objetivos de
330 meu trabalho, portanto o presente trabalho contempla a execução de dois projetos de divulgação
331 científica:

332 • Escrever um para-didático que contenha um breve resumo das contribuições históricas mais
333 relevantes para a compreensão da série harmônica analisadas à luz da epistemologia.

334 • A realização da exposição didática na Estação Ciência.

335 A exposição a ser realizada na Estação Ciência em parceria com o grupo de pesquisa já conta com
336 o apoio da instituição e com o financiamento do Cnpq. Neste sentido, este trabalho deverá ser
337 norteado pelas leituras indicadas pelo profº Oscar, pelos encontros semanais com o grupo de pesquisa e
338 pelas necessidades da exposição didática que deverá contar com a elaboração de textos históricos a fim
339 de constituir um catálogo sobre a exposição.

340 As elaborações de tais textos, bem como as leituras necessárias para tal atividade deverão fornecer
341 materiais e subsídios teóricos para a elaboração do material didático tratando a acústica musical sob
342 uma perspectiva histórico-epistemológica.

343 5.2 Cronograma

344 **1º trimestre:** Estudo de tratados teóricos do Renascimento abordando conceitos matemático-musicais tais
345 como, *Traité de l'harmonie* de Rameau de Jean-Philippe Rameau, *Compendium musicae* de René Descartes, *Le*
346 *institutioni harmonice* de Gioseffe Zarlino, *Harmonie Universelle* de Marin Mersenne, *Harmonie Mundi* de
347 Johannes Kepler, dentre outros.

348 **2º trimestre:** Extração de elementos de tais tratados que indiquem a presença do conhecimento
349 experimental na construção de conhecimento musical.

350 **3º trimestre:** Leitura de autores da filosofia da ciência tais como Thomas Kuhn, Gaston Bachelard, Karl
351 Popper, entre outros para fins de aquisição de um quadro teórico necessário a leitura histórico-
352 epistemológica do período em questão.

353 **4º trimestre:** Com base nas bibliografias mencionadas, fazer uma releitura do desenvolvimento da acústica
354 no Renascimento tendo em vista observar até que ponto conceitos epistemológicos concebidos pelos
355 filósofos da ciência mencionados são passíveis de ser transferidos ao desenvolvimento da acústica nesse
356 período .

357 6.0 Comentários relevantes

358 Após o desenvolvimento de três anos de pesquisa é inevitável refletir sobre o trabalho
359 desenvolvido. Neste sentido, constata-se que apresentação de seminários para o grupo de pesquisa,

360 bem como as reuniões periódicas com o Prof^o Oscar João Abdounur foram de grande relevância para
 361 meu aprimoramento profissional e pessoal. Além disso, a participação nos congressos, seja como
 362 ouvinte ou apresentando trabalho, foi fundamental para a minha atual concepção sobre ciência.

363 Além disso, este trabalho tem cooperado de maneira consistente não só para o estudo das da
 364 acústica musical, bem como tem possibilitado, a partir de uma abordagem interdisciplinar, o estudo de
 365 outras áreas, tais como história da ciência e a maneira como seu discurso costuma ser apresentado,
 366 epistemologia científica e sua respectiva relação com o desenvolvimento histórico e educação, dada a
 367 preocupação com a divulgação consistente dos resultados obtidos na pesquisa.

368 Vale ainda ressaltar que o presente projeto vem contribuindo de maneira indireta através de
 369 aprendizados paralelos, como o aprimoramento de línguas, particularmente o inglês, o francês e o
 370 alemão cujos estudos vêm sendo desenvolvidos há três anos e meio.

371 Dado o conjunto de fatores que abarca tal pesquisa, planeja-se a extensão deste trabalho
 372 visando seu desenvolvimento na pós- graduação.

373 **7.0 Bibliografia fundamental:**

374 **Abdounur, Oscar João.** Matemática e música: o pensamento analógico na construção de significados.
 375 Editora Escrituras: São Paulo, 1999

376 **Bachelard, Gaston.** A formação do espírito científico. Contraponto: Rio de Janeiro, 1996

377 **Bailhache, Patrice,** Une histoire de l'Acoustique musicale.Paris: CNRS Editions. 2001.

378 **Boyer,C.B** História da matemática. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1996

379 **Cohen, H. F.,** Quantifying music. The science of music at the first stage of the Scientific Revolution,
 380 1580-1650. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1984

381 **Culver, C.A.,** Musical Acoustics (Philadelphia, 1941, 4/1956)

382 **Descartes,René;** Buzon, Frédéric de. Abrégé de musique, Compendium musicae. Paris: Presses
 383 universitaires de France, 1987.

384 **Dostrovsky, S.:**“Early Vibration Theory;Physics and Music in the Seventeenth Century”, Archive for
 385 history of Exact Sciences, XIV (1975),169-218

386 **Egan, J.B.** Marin Mersenne, Traité de l'harmonie universelle: Critical Translation of the Second Book
 387 (diss., Indiana U., 1962).

388 **Eves, H.,** Introdução à história da matemática. Campinas: Editora atual, 1997

389 **Gossett, P.** Preface to Jean-Philippe Rameau: Treatise on Harmony (New York, 1971)

390 **Jeans,J.** Science & Music (Cambridge, 1937/R1968)

391 **Kepler, Johannes.** Ioannis Keppleri Harmonices Mvndi Libri V. Frankfurt a. M.: Tampach, 1619

392 **Kuhn, Thomas S.** The structure of scientific revolutions. Chicago: University of Chicago Press, 1970.

393 **Lindsay, R.B.** Acoustics: Historical and Philosophical Development. Stroudsburg: Dowden

394 **Miller,D.C.:**Anedoctal History of the science of sound (New York,1935)

395 **Olson, H.F.,** Musical Engineering (New York, 1952/R1967)

396 **Palisca,C.V.**,”Scientific Empiricism in Musical Thought”,Seventeenth Century Science and the Arts,
 397 ed.H.H.Rhys(Princeton,1961), 91-137

398 **Popper, K.,** A lógica da pesquisa científica S. Paulo, Cultrix, 1975.

399 **Roederer, J. G.,** Introdução à física e psicofísica da música Editora: Edusp

400 **Taylor C.A.,** The Physics of Musical Sounds (London, 1965)

401 **Wisnik, J. M.,** O som e o sentido Editora: Companhia das Letras

402 **Zarlino, Gioseffo,** Le istituzioni harmoniche. Venetia : appresso Francesco Senese, 1562