

A FÍSICA DA MÚSICA NO RENASCIMENTO: UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA

THE PHYSICS OF MUSIC IN RENAISSANCE: AN APPROACH HISTORIC- EPISTEMOLOGICAL

Rafael Andrade Pereira
Orientador: Oscar João Abdounur

Universidade de São Paulo/Pós Graduação Interunidades/rafael_andrade_pereira@hotmail.com

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.

Palavras-chave: Série Harmônica / Série de Fourier / Acústica Musical / Epistemologia Histórica / Experimentação

Abstract

This project aims to research under a historic-epistemological perspective the development of musical acoustic in the Renaissance. This research will be especially focused in the search for indicators of the importance of experimental verification in the production of acoustic knowledge of that time. Therefore, it becomes essential that the historiographical search provide theoretical subsidies for reasoning of the transition from a science musical centered on a dogmatism arithmetic to a science musical, which has a verification test as a relevant criterion of distorted from their theories. In order to extract the indicators mentioned, the aim is to analyze well-treated theoretical music of this period under the prospect of relations between the physics, mathematics and music. From an educational overview, this project intends, through a didactic exhibition at the museum “Estação Ciência”, to reproduce structurally clarifying experiments of acoustical concepts emerged in the Scientific Revolution, making use of modern resources. As a result of such bibliographic thoughts, it is intended to produce didactic materials about the development of the relationship between physics, mathematics and music, on a perspective historic- epistemological.

Keywords: Harmonic Series / Fourier Series / Acoustic Musical / Historic Epistemology / Empiricism

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.

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

A FÍSICA E A MÚSICA: UMA LEITURA HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA

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

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

- Paradigma (T. Kuhn): Conjunto de realizações científicas e conhecidas por uma comunidade por algum tempo, como proporcionando os fundamentos para sua prática posterior.
- Ciência Normal (T. Kuhn): Pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas passadas (paradigma), ou seja, trabalho de acabamento sobre um paradigma estabelecido.
- Revolução Científica (T. Kuhn): Episódios de desenvolvimento não cumulativo, nos quais um paradigma mais antigo é total ou parcialmente substituído por um novo incompatível com o anterior.

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

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

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

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

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

A falseabilidade foi desenvolvida inicialmente por Karl Popper no século XX. Popper ressaltou que dois tipos de enunciados são de particular valor para os cientistas, sendo o primeiro enunciados de observações, tais como "este cisne é branco". Na teoria da lógica chamamos a estes, enunciados existenciais singulares, uma vez que afirmam a existência de uma coisa em particular. Eles podem ser analisados na forma: existe um x que é cisne e é branco.

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

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

A metodologia indutivista supunha que se pode passar de uma série de enunciados singulares para um enunciado universal. Ou seja, que se pode passar de um "este é um cisne branco", "ali está outro cisne branco", e por aí em diante, para um enunciado universal como "todos os cisnes são brancos". Este método é claramente inválido em lógica, uma vez que será

sempre possível que exista um cisne não-branco que por algum motivo não tenha sido observado.

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

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

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

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



Figura 1: Figura de Franchino Gaffurio

Dentre as limitações do sistema musical pitagórico destacam-se:

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

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.

Tal experimento informa não somente que às consonâncias perfeitas 8^a , 5^a e 4^a 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.

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:

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

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

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

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

Com a emergência da Polifonia surgem problemas entre teoria e prática, cujas pretensões exigiam uma fundamentação teórica incongruente com os pressupostos pitagóricos, segundo os

quais consonâncias musicais eram geradas por razões entre os números 1, 2, 3 e 4 e intervalos musicais somente por razões comensuráveis. De fato, o próprio experimento do monocórdio, que revela que os intervalos de quinta e oitava estão relacionados respectivamente com razões 2:3 e 1:2, já contém potencialmente o problema levantado pelo advento da Polifonia na medida em que a partir de seus resultados, constata-se que não existem m e n , inteiros positivos tais que $(2/3)^m$ seja igual a $(1/2)^n$, o que implica na impossibilidade de encaixar um número inteiro de ciclos de quintas em um número inteiro de ciclos de oitavas.

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

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

Em outras palavras o Temperamento Igual consiste em dividir a oitava em 12 partes iguais, o que resulta no encontro entre 12 ciclos de quinta e 7 ciclos de oitava. Neste caso, a razão relacionada ao intervalo de quinta seria $1:2^{7/12}$, que numericamente é aproximadamente 1,4983, e não 1,5 correspondente à razão 3:2 como propunha Pitágoras.

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

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

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

Com o trabalho destes cientistas a acústica passou a apresentar fundamentação empírica, inicialmente com Mersenne que além de estabelecer, juntamente com Galileu, a lei de Mersenne -- em uma corda vibrante, a frequência é inversamente proporcional ao comprimento de corda, é proporcional à raiz quadrada da tensão e inversamente proporcional à raiz quadrada da densidade

linear da corda --, começou a relacionar diretamente a altura de uma nota emitida por uma fonte com sua frequência de vibração. Isso dava início a uma resposta ao problema proposto por Vincenzo Galilei, que mostrava a insuficiência de razões de números sem base experimental para a determinação de intervalos musicais, como propunham os pitagóricos.

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

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

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

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

Ainda no princípio do século XVIII, o compositor e teórico musical Jean-Philippe Rameau (1683-1764) sistematizou em seu *Traité de Harmonie* (1722) grande parte da teoria harmônica de seu tempo. O primeiro capítulo dessa obra trata dos fundamentos matemáticos presentes na música. Os capítulos seguintes tratam de natureza e propriedades de acordes e tudo aquilo que é necessário para fazer música perfeita, princípios de composição e de acompanhamento.

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

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

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

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

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

PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

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

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

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

- Estrutura do projeto da exposição aprovado pelo Cnpq e pela Estação Ciência, incluindo o início do desenvolvimento dos cartazes, textos, animações e experiências que serão apresentados a exposição.
- Leituras de livros importantes para a compreensão não só do conceito da série harmônica, mas sim uma contextualização geral de como tal conceito foi evoluindo historicamente. Tais leituras deverão ser utilizadas futuramente para escrever um para-didático com enfoque principal na abordagem histórica.
- Análise das regras de harmonia presentes no tratado de Harmonia de Rameau (1722), a luz do conceito da série harmônica.

- Descrição das contribuições históricas do período da Revolução Científica que deram subsídios à compreensão matemática do conceito de Série Harmônica.
- Apresentação do trabalho no 11º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP, no 6º Seminário Nacional de História da Matemática, no 10º Seminário Nacional de História da Ciência e Tecnologia, no 1º Seminário Paulista de História e Educação Matemática., no 13º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP e no 7º Seminário Nacional de História da Matemática.

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

- Escrever um para-didático que contenha um breve resumo das contribuições históricas mais relevantes para a compreensão da série harmônica analisadas à luz da epistemologia.
- A realização da exposição didática na Estação Ciência.

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

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

CONCLUSÃO

Após o desenvolvimento de três anos de pesquisa é inevitável refletir sobre o trabalho desenvolvido. Neste sentido, constata-se que apresentação de seminários para o grupo de pesquisa, bem como as reuniões periódicas com o Profº Oscar João Abdounur foram de grande relevância para meu aprimoramento profissional e pessoal. Além disso, a participação nos congressos, seja como ouvinte ou apresentando trabalho, foi fundamental para a minha atual concepção sobre ciência.

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

BIBLIOGRAFIA:

- Abdounur, Oscar João.** Matemática e música: o pensamento analógico na construção de significados. Editora Escrituras: São Paulo, 1999
- Bachelard, Gaston.** A formação do espírito científico. Contraponto: Rio de Janeiro, 1996
- Bailhache, Patrice,** Une histoire de l'Acoustique musicale. Paris: CNRS Editions. 2001.
- Boyer, C.B** História da matemática. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1996
- Cohen, H. F.,** Quantifying music. The science of music at the first stage of the Scientific Revolution, 1580-1650. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1984
- Culver, C.A.,** Musical Acoustics (Philadelphia, 1941, 4/1956)
- Descartes, René;** Buzon, Frédéric de. Abrégé de musique, Compendium musicæ. Paris: Presses universitaires de France, 1987.
- Dostrovsky, S.:** "Early Vibration Theory; Physics and Music in the Seventeenth Century", Archive for history of Exact Sciences, XIV (1975), 169-218

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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