

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

INSTITUTO DE FÍSICA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

ALEFF KENNETY HENRIQUE DOS SANTOS

INFLUÊNCIA DA ESCOLA PITAGÓRICA NAS CIÊNCIAS FÍSICAS

MACEIÓ
2022

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



INFLUÊNCIA DA ESCOLA PITAGÓRICA NAS CIÊNCIAS FÍSICAS

Aleff Kennety Henrique dos Santos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Jenner Barretto Bastos Filho

MACEIÓ
AGOSTO 2022

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S237i Santos, Aleff Kennety Henrique dos.

Influência da escola pitagórica nas ciências físicas / Aleff Kennety Henrique dos Santos. – 2022.

93 f. : il. color.

Orientador: Jenner Barretto Bastos Filho.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Física. Programa de Pós-Graduação em Física. Maceió, 2022.

Inclui produto educacional.

Bibliografia: f. 67-69.

Apêndices: f. 71-93.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Pitágoras. 3. Aprendizagem significativa. I. Título.

CDU:372.853



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

INSTITUTO DE FÍSICA

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 36 - UFAL

Campus A. C. Simões - Av. Lourival de Melo Mota, S/Nº.

Tabuleiro dos Martins - 57.072-970 - Maceió - AL - Brasil

Tels.: Direção: (82) 3214-1645; Coordenação Graduação: (82) 3214.1421;

Coordenação Pós-Graduação: (82) 3214-1423 / 3214 – 1267

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

“INFLUÊNCIA DA ESCOLA PITAGÓRICA NAS CIÊNCIAS FÍSICAS”.

por

Aleff Kennety Henrique dos Santos

A Banca Examinadora composta pelos professores, Dr. Jenner Barretto Bastos Filho (Orientador), do Instituto de Física da Universidade Federal de Alagoas, Dr^a. Samuel Silva de Albuquerque, da Universidade Federal de Alagoas - Campus Arapiraca, Dr. Fernando Guilherme Silva Ayres, do Instituto de Ciências Humanas Comunicação e Artes (ICHCA) da Universidade Federal de Alagoas, e Dr. Marcos Antônio Barros Santos, da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, consideram o candidato **aprovado**.

Maceió/AL, 22 de agosto de 2022.

Prof. Dr. Jenner Barretto Bastos Filho

Prof. Dr. Marcos Antônio Barros Santos

Prof. Dr. Samuel Silva de Albuquerque



Documento assinado digitalmente

SAMUEL SILVA DE ALBUQUERQUE

Data: 24/08/2022 09:47:22-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>



Documento assinado digitalmente

FERNANDO GUILHERME SILVA AYRES

Data: 31/08/2022 12:26:57-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Fernando Guilherme Silva Ayres

Dedico esta Dissertação à minha mãe.

Agradecimentos

Agradeço à Suprema Ideia Perfeita.

Agradeço à minha mãe (Maria Helena dos Santos) por ter me dado uma digna criação moral, material e biológica.

Agradeço ao meu pai Antônio dos Santos, que não se encontra mais no plano material, mas continua vivo em minha memória.

Agradeço à minha família, principalmente Lúcia, Elitânia e Vitor.

Agradeço à Clara Barros por compartilhar atualmente sentimentos comigo.

Agradeço ao professor e amigo Jenner Barretto Bastos Filho, pessoa ilustríssima e de grande espírito.

Agradeço aos médicos Dr. Adolfo Vasconcelos Albuquerque e Dr. Cid Célio Cavalcante, os serviços prestados por esses senhores foram além da medicina, eles ajudaram na manutenção do meu corpo físico e também da minha estrutura mental.

Agradeço aos meus professores da educação básica, principalmente aos respectivos docentes: Kaldy Luiz, Andrea Roberta, Tony Barros e Álvaro Leiva.

Agradeço aos psicólogos que cuidaram da minha saúde mental, Heloísa Almeida, Rodrigo Caju e Gislayne Roberta.

Agradeço ao Colégio Nunila Machado, local onde realizei minha formação básica.

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil) que em tempos difíceis, realizou sumo suporte para realização do presente trabalho- Código de Financiamento 001.

‘‘Pois que aproveita ao homem ganhar o mundo inteiro, se perder a sua alma?’’
Jesus Cristo

‘‘ Nunca é alto o preço a se pagar pelo privilégio de pertencer a si mesmo.’’
Nietzsche

‘‘Pois o homem é o exercício que faz.’’
Raul Seixas

LISTA DE FIGURAS

1. Figura 1.....	24
2. Figura 2.....	28

RESUMO

SANTOS, Aleff Kennety Henrique. INFLUÊNCIA DA ESCOLA PITAGÓRICA NAS CIÊNCIAS FÍSICAS. Orientador: Jenner Barretto Basto Filhos. 2022. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, 2022.

O presente trabalho tem dois objetivos: o primeiro é mostrar a tradição filosófica da escola pitagórica, tanto sua origem quanto sua influência na ciência, com o foco nas ciências físicas; o segundo é a produção de um produto educacional, com textos poéticos no estilo livre, onde nele será mostrado poeticamente, a contribuição do pensamento pitagórico para a ciência moderna. O produto educacional criado através dos termos teóricos discutidos nesta Dissertação, foi um livreto com 15 poemas, o opúsculo apresenta o seguinte título: *“Breves poemas: A Influência da Escola Pitagórica nas Ciências Físicas”*. O material pedagógico criado através das análises teóricas aqui investigadas, se mostrou eficaz durante a sua aplicação por conta de dois fatores: (1) a matriz epistemológica da escola pitagórica remonta à Antiguidade Clássica, mas mesmo assim se encontra presente na ciência hodierna; (2) devido a estrutura poética que é potencialmente significativa, pois o escritor tem a liberdade de escrever de uma forma livre.

Palavras-chave: Ensino de Física, Pitágoras, Versos Livres, Aprendizagem Significativa.

ABSTRACT

SANTOS, Aleff Kennety Henrique. INFLUENCE OF THE PYTHAGOREAN SCHOOL ON THE PHYSICAL SCIENCES. Advisor: Jenner Barretto Basto Filhos. 2022. Dissertation (Masters) - Federal University of Alagoas, Maceió-AL, 2022.

The present work has two objectives. The first is to show the philosophical tradition of the Pythagorean school, both its origin and its influence on science, with a focus on the physical sciences. The second is the production of an educational product, with poetic texts in free style, where the contribution of Pythagorean thought to modern science will be shown poetically. The educational product created through the theoretical terms discussed in this dissertation, was a booklet with 15 poems, the booklet has the followed title: "Brief poems: The Influence of the Pythagorean School in the Physical Sciences" theories investigated here, proved to be effective during its application due to two factors: (1) the epistemological matrix of the Pythagorean school dates back to Classical Antiquity, but even so it is present in today's science; (2) due to the poetic structure which is potentially significant, as the writer has the freedom to write freely.

Keywords: Teaching Physics, Pythagoras, Free Verses, Meaningful Learning.

SUMÁRIO

1-APRESENTAÇÃO: OS OBJETIVOS E A ORGANIZAÇÃO ADOTADA.....	1
2- FILOSOFIA PRÉ-SOCRÁTICA.....	6
3-PENSAMENTO PITAGÓRICO.....	8
4-INFLUÊNCIA DA ESCOLA PITAGÓRICA NA CIÊNCIA	11
5-ÁTOMO DE BOHR E A EXPLICITAÇÃO TEÓRICA DA CONSTANTE DE RYDBERG INTERPRETADA À LUZ DA CONCEPÇÃO PITAGÓRICA.....	14
5.1 Átomo de Bohr.....	14
5.2 O que é o Princípio da Correspondência? E como se chegou a ele no modelo de Bohr?.....	15
5.2.1 A Física Clássica no Átomo de Bohr	16
5.2.2 A Física Quântica no Átomo de Bohr	19
5.2.3 Conciliação entre as mecânicas, quântica e clássica, e a explicitação da constante de Rydberg através do princípio da correspondência	21
5.2.4 O princípio da correspondência ilustrado com a ajuda de um diagrama esquemático.....	24
5.3 Onde estão inseridas as Ideias Pitagóricas no Modelo Atômico de Bohr? ..	25
6-A LEI DE GAY LUSSAC, A PROPRIEDADE DIATÔMICA DAS MOLÉCULAS DE HIDROGÊNIO E DE OXIGÊNIO, E A LEI DE STANISLAO CANNIZZARO ENQUANTO LEITURAS PITAGÓRICAS DO MUNDO.....	27
6.1 A fórmula da água.....	27
6.2 Por que a aritmética nos deixava em apuros?	29
6.3 E onde está o programa de lavra pitagórica?	30
7-HARMONIA COSMOLÓGICA, UMA IDEIA PITAGÓRICA	32
7.1 Lei da gravitação universal	32
7.2 Interpretação Newtoniana da Terceira Lei de Kepler.....	34
7.2.1 Caso Particular: Trajetória circular do planeta.....	34

7.3 Regularidade astronômica possui raízes conceituais na Escola Pitagórica .	37
8-APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	41
9-USO DO POEMA COMO ELEMENTO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO.....	48
10-HISTÓRIA E FILOSOFIA COMO ELEMENTOS POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVOS PARA O ENSINO DE FÍSICA	50
11-PRODUTO EDUCACIONAL	55
11.1 Nome do produto.....	55
11.2 Objetivo do produto.....	55
11.3 Teoria educacional utilizada	55
11.3.1 Por que utilizar textos poéticos de versos livres no produto educacional?	55
11.3.2 Por que utilizar o influxo da escola pitagórica nas ciências físicas no produto educacional?	56
11.4 Estrutura do produto	57
11.5 Componente teórico de cada poema.....	57
11.6 Aplicação e resultados obtidos durante o emprego do produto educacional.	59
11.6.1 Conversa realizada	59
11.6.2 Aplicação	60
11.6.3 Resultados da aplicação	60
11.6.4 Considerações sobre a utilização do produto educacional	64
CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS.....	67
APÊNDICE.....	70

CAPÍTULO 1

APRESENTAÇÃO: OS OBJETIVOS E A ORGANIZAÇÃO ADOTADA

No mundo ocidental os pensadores da Antiguidade Clássica, tiveram como primeira investigação a substância formadora da realidade física. Como a preocupação se tratava da constituição natural, esses pensadores são conhecidos como físicos (GAARDER,2012). Em termos de preocupação epistemológica esses intelectuais possuíam uma preocupação diferente de Sócrates; como a preocupação sobre os elementos constitutivos da natureza anteciparam os estudos socráticos, eles são conhecidos como pré-socráticos (ARANHA e MARTINS, 2016).

Um importante pré-socrático foi Pitágoras; para ele a realidade é composta por números. Seu pensamento (como também o de seus contemporâneos e sequazes) foi compartilhado por uma fraternidade, conhecida hoje como escola pitagórica; seus membros discutiam sobre matemática, música e astronomia.

O presente trabalho tem dois objetivos: o primeiro é mostrar a tradição filosófica da escola pitagórica, tanto no que diz respeito à sua origem quanto naquilo que concerne à sua influência na ciência, com o foco nas ciências físicas; o segundo é a elaboração de um produto educacional, com textos poéticos no estilo livre; nele será mostrado poeticamente, a contribuição do pensamento pitagórico para a ciência moderna.

A ciência moderna, se fundamenta na pesquisa científica e investiga o mundo natural, com base nas informações coletadas da natureza e por meio disso elucida padrões numéricos, diante do contexto apresentado; a matemática atua como linguagem da ciência (CHINAZZO, 2013), logo os fundamentos teóricos da ciência, estão alicerçados no grandioso pensamento pitagórico: “os números se constituem na essência da realidade”.

Serão mostrados aqui físicos e químicos que se engajaram em programas científicos na esteira da concepção pitagórica como Newton, Cannizzaro, Proust, Gay-Lussac, Millikan, Planck, Bohr, entre outros. Seguindo essa orientação, são encontrados elementos da filosofia pitagórica tanto na física clássica, quanto na física quântica.

Por meio do recurso dialético serão explicitados aqui na Dissertação, fatores que demonstram, que a ciência se dá por meio de processos teóricos e experimentais, estruturados

em bases filosóficas, como no caso da contribuição da Escola Pitagórica para Física. Então o processo formativo de conhecimento, deve relacionar os processos filosóficos e históricos com as teorias físicas, propondo recursos potencialmente significativos para o ensino.

A presente Dissertação encontra-se organizada da seguinte maneira:

No capítulo 2, intitulado *Filosofia Pré-Socrática*, é apresentado um breve relato que tem como objetivo o de esclarecer a diferença de abordagens entre os filósofos gregos, respectivamente, antes e depois de Sócrates (cerca 470/69 a. C.- 399 a. C.). Sócrates, deste modo, constitui uma linha demarcatória entre os filósofos que o precederam que tinham preocupações mais cosmológicas baseados em questões tais como acerca de quais sejam os princípios constitutivos que formam todas as coisas e por isso eram chamados de *físicos*, de *physis* (natureza), e por outro lado, de filósofos que o sucederam com preocupações voltadas para a polis (cidade, política) para a Ética e aspectos epistemológicos correspondentes.

O capítulo 3, intitulado *Pensamento Pitagórico*, tem o objetivo de ressaltar a profundidade e a fertilidade da expressão *número como a essência da realidade* expressão essa que quando explorada em uma hermenêutica rica e abrangente, é capaz de englobar a música, as frequências e as diversificadas periodicidades exibidas pela natureza, bem como também de ensinar uma racionalidade tal que é capaz de oferecer uma transcendência e uma superação de explicações do mundo baseadas nos *mitos*.

O capítulo 4, intitulado *Influência da Escola Pitagórica na Ciência*, exibe um relato acerca da enorme abrangência do pensamento pitagórico. Bertrand Russell por exemplo, chegou a escrever na sua famosa *História da Filosofia Ocidental que não conhece alguém em toda a História tão influente quanto Pitágoras*, argumento esse que é corroborado por Koestler quem atribui a Pitágoras o mister de ter sido o grande maestro a conduzir a sinfonia do mundo. Argumentos de lavra bem similar são aduzidos por Mario Bunge que atribui à teoria quântica como sendo algo já presente, pelo menos implicitamente, há 2500 anos e não há apenas alguns, digamos, 122 anos. No capítulo 4, também se encontra anunciado o desenvolvimento de alguns aspectos pitagóricos que serão explorados nos capítulos seguintes, notadamente no que diz respeito ao átomo de Bohr e às fórmulas químicas da Água e da Amônia.

O capítulo 5, intitulado *Átomo de Bohr e a Explicitação Teórica da Constante de Rydberg interpretada à Luz da Concepção Pitagórica*, é dedicado à exploração dos ricos

elementos pitagóricos presentes na teoria do átomo de Bohr. O estudo de viés epistemológico deste importante capítulo da ciência é capaz de ensinar a compreensão nos estudantes e nos professores, compreensão essa, que de alguma maneira, é capaz de superar a contradição entre a eletrodinâmica (que levaria à instabilidade não observada do átomo de Hidrogênio) e o estabelecimento de estados estacionários de energia, postulação essa que se constitui em parte essencial do modelo de Bohr. O *Princípio da Correspondência* ensina um importante elemento de racionalidade na direção de superação dessa contradição incômoda ao estabelecer que a teoria clássica redundava na teoria de Bohr no limite de grandes números quânticos ($n \gg 1$). Além da superação da contradição já aludida, o procedimento iluminado do *Princípio da Correspondência* é capaz de explicitar a constante de Rydberg em termos de três constantes basilares da física atômica, quais sejam, a massa do elétron, a carga do elétron e a constante de Planck fundamental em toda a teoria quântica.

O capítulo 6, intitulado *A Lei de Gay Lussac, a Propriedade Diatômica das Moléculas de Hidrogênio e de Oxigênio, e a Lei de Stanislao Cannizzaro enquanto Leituras Pitagóricas do Mundo*, parte de um belo artigo publicado na década de 70 do século passado por Ricardo Ferreira o qual trata de um episódio histórico que se consubstanciou na procura de uma explicação coerente para a fórmula da água, explicação coerente essa que somente foi possível com os trabalhos de Avogadro e de Stanislao Cannizzaro. São explorados, em um viés epistemológico e didático, aspectos pitagóricos dessas importantes contribuições. *Mutatis mutandis*, a explicação para a molécula da amônia reza dos mesmos princípios básicos.

O capítulo 7, intitulado *Harmonia Cosmológica, uma Ideia Pitagórica*, procede a uma argumentação centrada nas características pitagóricas da teoria da gravitação universal de Newton. Como fechamento do capítulo 7, enfatizamos que é importante ser dito que para elucidar bem a teoria da Gravitação, Newton estudou as obras keplerianas, mas as teorias de Kepler sozinhas não explicam integralmente toda a cosmologia newtoniana. Temos uma cadeia de constructos teóricos e experimentais para chegarmos às máximas universais newtonianas. A matriz teórica newtoniana possui raízes em Pitágoras, Ptolomeu, Copérnico e Kepler. Em ambos os modelos sobre o universo, continua a conceituação segundo a qual: a harmonia dos padrões naturais, possuem correspondência com os termos numéricos.

Nos capítulos 8, 9 e 10 consubstancializamos os argumentos sobre a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), contextualizando-a e ampliando-a, no sentido de concebê-

la para além da simples afirmação de que o ingrediente mais importante para a emergência de um conhecimento novo seja simplesmente e tão somente a valorização daquilo que o aprendiz já sabe de antemão e que lhe serve de subsunçor que ancora o conhecimento emergente. Faz-se necessário, ir além disso e trabalhar na produção de significados e na reconstrução racional dos episódios de lavra pitagórica em um viés epistemológico.

No capítulo 8 intitulado *Aprendizagem Significativa*, a TAS foi ampliada por meio da produção de significados, produção essa cujos elementos constitutivos apresentam fertilidade cognitiva clara. Aduz-se o exemplo de Einstein o qual sugere em suas famosas *Notas Bibliográficas* uma bela passagem na qual conecta o pensamento de Bohr ao espírito Pitagórico que se encontra evidenciado na expressão: *a mais alta forma de musicalidade na esfera do pensamento*. A importância do ensino do átomo de Bohr também é ressaltada, a despeito de opiniões divergentes que se baseiam em sua pressuposta obsolescência tendo em vista teorias posteriores como as baseadas na equação de Schroedinger. Ressalta-se que o átomo de Bohr é potencialmente significativo principalmente no que concerne ao *Princípio da Correspondência* o qual estabelece a teoria clássica como um caso particular da teoria quântica no limite de números quânticos grandes ($n \gg 1$). Além disso, a constante de Rydberg é obtida em termos das constantes basilares da física atômica, a saber, a massa do elétron, a sua carga e a constante de Planck. Ainda no capítulo 8, uma discussão é apresentada sobre o que seja *útil* e o que seja *inútil* para a formação de um educador em ciências e para tal é trazida à baila contribuições de Nuccio Ordine no campo da filosofia e de Manuel Barros no campo da poesia.

No capítulo 9 intitulado *Uso do Poema como Elemento Potencialmente Significativo*, é enfatizada a importância da linguagem, inclusive da linguagem poética, para a produção de significados e para a criação de metáforas potencialmente significativas para a compreensão dos conteúdos científicos.

No capítulo 10 intitulado *História e Filosofia como Elementos Potencialmente Significativos para o Ensino de Física* enseja-se uma discussão aprofundada acerca da abrangência daquilo que o *subsunçor* venha a significar. A partir de uma iluminada citação de Moreira (MOREIRA, 2012, p. 10), constatamos que o espectro de possibilidades daquilo que pode significar *subsunçor* nos permite estabelecer pontes entre a TAS e a produção de significados bem como de conexões com o processo de reconstrução racional de episódios científicos em um viés epistemológico. Para o presente caso desta Dissertação, o enfoque é

dirigido para episódios de lavra pitagórica. Desde modo, quando Moreira se refere a subsunção como proposições, modelos mentais, construtos pessoais, concepções, ideias, invariantes operatórios, representações sociais e conceitos preexistentes na estrutura cognitiva de quem aprende, tal abrangência nos convida ao exercício de tais produções de significados epistemológica e pedagogicamente pertinentes. Ainda no capítulo 10 é articulada uma construção racional que também é um construtivismo nas lavras de autores como Copérnico, Galileu, Kant, Einstein, Popper, Bachelard, Piaget, Chomsky e Vygotsky e tudo isso conversa com a produção de significados adotada nesta Dissertação (Ver, SANTOS SILVA; BASTOS FILHO, 2021).

No capítulo 11, chegamos à nossa proposta de um Produto Educacional. Com base na relação correspondente entre pitagorismo e a ciência física, será mostrado um material didático, em forma de livreto com 15 poemas (presente no apêndice), sendo todos os textos escritos em versos livres. Para a construção do material de nome: *“Breves poemas: A Influência da Escola Pitagórica nas Ciências Físicas”*, foi utilizada a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS).

CAPÍTULO 2

FILOSOFIA PRÉ-SOCRÁTICA

A primeira tarefa da filosofia no ocidente enquanto atividade racional, foi a busca de uma essência, que explicasse a origem e o funcionamento do universo. O exercício filosófico surgiu com os pensadores essencialistas. Eles propuseram teses sobre a formação do cosmos. Partiram do ponto que deveria existir ao menos um elemento que fosse responsável pela origem estruturante da natureza. Segundo Gaarder (2012, *O Mundo de Sofia*, p.44): “os primeiros filósofos concordavam que deveria haver uma substância primordial por trás de todas as transformações naturais”.

Os primeiros pensadores que buscaram um princípio fundamental, foram conhecidos como filósofos naturalistas, pois seus posicionamentos eram voltados para questões sobre a natureza. Gaarder (2012, p.44) no livro *O Mundo de Sofia* diz: “os primeiros filósofos gregos costumam ser chamados de “filósofos da natureza” porque foram eles que primeiro se interessaram pelos processos naturais”.

No grego antigo a palavra natureza se chamava *physis*, então os pensadores que a investigavam eram dominados de “físicos”. Por ordem temporal, essa escola filosófica se inicia com Tales de Mileto (cerca de 640/39 a. C - 546 a. C) e vai até o final do século V a.C., sobre isso Reale e Antiseri (1990, p.19) dizem: “assim, os filósofos que, a partir de Tales até o fim do séc. V a.C., indagaram a respeito da *physis* foram denominados físicos”.

Essa linha filosófica também é conhecida como pré-socrática, pois vieram antes de Sócrates (469 – 399 a.C.); além da temporalidade, outro fator de divisão era: Sócrates preocupava-se com a Ética e a Epistemologia; os pré-socráticos com questões voltadas ao funcionamento, essência e estrutura universal. Segundo Aranha e Martins (2016, p.28): “pré-socrático (século VI.a.C.). Os primeiros filósofos ocupavam-se com questões cosmológicas”.

Um traço marcante nessa matriz é: a explicação sobre o funcionamento do cosmos com uma base racional. Deste modo, a primeira tentativa na história civilização ocidental, a estabelecer critérios sobre o funcionamento do universo sem recorrer a entidades teológicas. Segundo Aranha e Martins (2016, p.28): “naquele momento, em vez de explicar a ordem

cósmica pela interferência divina, os filósofos buscavam respostas por si mesmos, por meio da razão”.

Os pré-socráticos são divididos em quatro grupos, e a divisão conceitual ocorre pelos seguintes fatores: localidade geográfica e linha de pensamento dos filósofos. Segundo Chauí:

Os principais pré-socráticos foram: os da Escola Jônica: Tales de Mileto, Anaxímenes de Mileto, Anaximandro de Mileto e Heráclito de Éfeso; os da Escola Itálica: Pitágoras de Samos, Filolau de Crotona e Árcitas de Tarento; os da Escola Eleata: Parmênides de Eleia; os da Escola da Pluralidade: Empédocles de Agrigento, Leucipo de Abdera e Demócrito de Abdera. (CHAUÍ, Iniciação à Filosofia: Ensino Médio, 2010, p.41).

CAPÍTULO 3

PENSAMENTO PITAGÓRICO

Tanto quanto sabemos, o Programa Pitagórico floresceu na Antiga Grécia no século VI a.C. com o filósofo Pitágoras (cerca de 532 a. C.) e na sua Escola de Pensamento. Naquela época os pensadores estavam buscando um princípio que explicasse a origem do cosmos, rompendo com os mitos¹, e esse grupo de intelectuais foram chamados de pré-socráticos. Pitágoras, como um desses, propôs o número, como *arché* (princípio de tudo); para ele os números são origem e fim de toda natureza. Segundo ele: ‘tudo é número’, ‘o número é a essência da realidade’.

O filósofo teve muitos adeptos na sua época, e se tornou um personagem de grande prestígio, esses seguidores são conhecidos como pitagóricos. A maneira como eles interpretaram a realidade, não fica somente restrita ao passado, mas sim no quadro de uma linhagem filosófica.

No contexto sócio-histórico em que estava inserido, Pitágoras foi considerado por muitos um gênio, um ser iluminado, o homem que dedicou a vida para o estudo do cosmos, da música e dos números. Segundo Kahn (2007, p. 15): ‘Na literatura da Antiguidade tardia, Pitágoras surge como gênio Único, o pai fundador da matemática, da música, da astronomia e da filosofia’.

A Escola Pitagórica obteve grande sucesso, dando um passo importante para a compreensão do universo, partindo do ponto que ele, e seus componentes mais expressivos como a música, astros e seus movimentos, estações climáticas, a reprodução e gestação dos

¹ A palavra *mito* é pantanosa e no contexto em que ela foi aduzida no texto central deste trabalho ela está imbuída de um espírito iluminista, no sentido em que a ideia luminosa de que *o número é a essência da realidade* foi festejada como um primeiro desabrochar da possibilidade de um pensamento científico. No entanto, há quem ofereça um contraponto a essa concepção. Na nota de rodapé seguinte, exibiremos esse contraponto. A propósito, ver um excerto dos filósofos frankfurtianos Horkheimer e Adorno: “A lógica formal foi a grande escola de uniformização. Ela ofereceu aos iluministas o esquema da calculabilidade do mundo. A equiparação mitologizante das ideias aos números, nos últimos escritos de Platão, exprime a ânsia própria a qualquer desmitologização: o número se tornou o cânon do iluminismo. As mesmas equações dominam tanto a justiça burguesa quanto a troca de mercadorias. [...] A sociedade burguesa é dominada pelo equivalente. Ela torna comparáveis as coisas que não têm denominador comum, quando as reduz a grandezas abstratas. O que não se pode desvanecer em números, e, em última análise, numa unidade, reduz-se, para o iluminismo, à aparência e é desterrado, pelo positivismo moderno, para o domínio da poesia. De Parmênides a Russell, a senha é a unidade. Insiste-se na destruição dos deuses e das qualidades” (HORKHEIMER & ADORNO, 1989, p.6).

animais possuem, todos eles, leis harmônicas e eternas, sendo essas explicadas por meio dos números.

A harmonia é um elemento que lembra a musicalidade, e essa é um termo importante na epistemologia pitagórica, pois para os pitagóricos assim como as notas de instrumento de corda teriam uma relação definida com o seu comprimento, também o cosmos se comporta da mesma maneira, através de ciclos e proporções bem definidas; sobre isso o filósofo Aristóteles no livro *Metafísica* fala sobre os pitagóricos:

Pensaram que os elementos dos números eram de todas as coisas, e que a totalidade do céu era harmonia e números. Eles recolhiam e sistematizavam todas as concordâncias que conseguiam mostrar entre números e os acordes musicais, os fenômenos, as partes do céu e todo ordenamento do universo (ARISTÓTELES, *metafísica*, 986 a3 à a5, p.27).

Assim como os pitagóricos se referem ao cosmo harmônico, eles também o analisavam através de quantidades específicas, em relação às quais eram compreendidas por meio dos números naturais, excluindo o zero. Eles partiram disso através da corda em vibração, presa em extremidades fixas, em que cada tonalidade emitida é diretamente proporcional a uma frequência básica (f). Mario Bunge diz que isso é um elemento precioso na teoria pitagórica:

É bem sabido que o sistema de crenças da fraternidade pitagórica era uma mistura de ouro e ganga². Uma das suas pepitas de ouro é a lei que diz que as frequências possíveis de uma corda vibrante são múltiplos inteiros de um tom harmônico básico (frequência). Isto é, as frequências possíveis de uma corda vibrantes são $f, 2f, 3f, \dots, nf$ (BUNGE, 2001, p.3).

A Escola Pitagórica além de acreditar que a natureza era harmônica, apresentava uma frequência específica; também propôs a ideia de forma perfeita, o círculo (geometria plana) e esfera (geometria espacial), sobre isso Khan (2007, p.27), cita o livro de Burket, trazendo à seguinte expressão da escola pitagórica: “As figuras mais bonitas são o círculo e a esfera”.

A filosofia pitagórica reduz qualidade à quantidade, isso é, todos os elementos compreendidos através da racionalidade podem ser expressos através de números. Fenômenos interpretados anteriormente como algo místico, belo e indeterminado passam a ser interpretados à luz de um espírito que se constitui em um primeiro desabrochar do pensamento científico no

² Há várias acepções e significados para a palavra **ganga**. No contexto do excerto de Bunge acima disposto, achamos um significado que a nosso ver é o que melhor se adapta. Segundo o dicionário do Houaiss **ganga** é a "parte não aproveitável de uma jazida, filão ou veeiro" (HOUAISS. p. 952, 2009).

contexto da cultura grega; tais fenômenos passaram a ser compreendidos e analisados através de termos exatos e precisos (números) e somente por meio deles se chega ao conhecimento verdadeiro. Sobre isso Reale e Antiseri dizem:

Com os pitagóricos o pensamento humano realizou um passo decisivo: o mundo deixou de ser dominado por obscuras e indecifráveis forças, tornando-se número, que expressa ordem, racionalidade e verdade. Como afirma Filolau: ‘as coisas que se conhecem têm número: sem este, não seria possível conhecer nada. (...) Jamais a mentira sopra contra um número’ (REALE; ANTISERI, 2002, p.45).

CAPÍTULO 4

INFLUÊNCIA DA ESCOLA PITAGÓRICA NA CIÊNCIA

A ciência como conhecemos hoje tem raízes no pitagorismo, principalmente quando se trata da matematização dos fenômenos. A compreensão do mundo por meio dos números, junto com a necessidade de se ter um conhecimento preciso e seguro são elementos constituintes da teoria científica. Na concepção de Hawking, renomado físico teórico, qualquer teoria científica deve ser enraizada na visão de Popper³:

Uma teoria científica segura, seja do tempo, ou de qualquer outro conceito, deve, em minha opinião, ser baseada na mais viável filosofia da ciência: a abordagem positivista formulada por Karl Popper e outros. Segundo essa maneira de pensar, uma teoria científica é um modelo matemático que descreve e codifica as observações que fazemos (HAWKING, 2002, p.31).

O excerto anterior relata que uma das premissas fundamentais para se fazer ciência é considerá-la como modelo matemático, isso está em ressonância com a fraternidade pitagórica; essa considera os números como elemento principal na sua base epistemológica. Considerando isso, eles são, de fato, constituintes necessários para se chegar à verdade.

A visão do pré-socrático, transpassou o seu tempo, sendo sua visão filosófica/matemática componente principal na matriz do pensamento ocidental. No texto *História da Filosofia Ocidental*, Bertrand Russell (1993, p.56) escreve: “Não sei de nenhum homem que tenha tido tamanha influência na esfera do pensamento”.

A cultura contemporânea está fundamentada na ciência, essa tomou o lugar dos mitos, a humanidade a elegeu como mecanismo importante para a preservação da vida e do bem-estar. Enquanto esse modo de pensar, científico, for vigente, as concepções de Pitágoras e seus seguidores terão destaque e muita repercussão. Koestler, relata a influência do pré-socrático, e o considera como o homem que conduziu o destino da raça humana, assim como um maestro guia numa orquestra:

A cena do sexto século a. C evoca a imagem de uma orquestra a afinar ansiosamente os instrumentos, estando cada um dos executantes absorto exclusivamente em seu

³ Hawking se intitula provocativamente como positivista e alega se basear na filosofia de Popper. Evidentemente, Popper não aceitaria esse rótulo de positivista. Para uma análise circunstanciada, ver BASTOS FILHO (2010) e (LEOPARDI GONÇALVES et al. 2018).

instrumento, surdo aos miados dos outros. De súbito, faz-se impressionante silêncio, o maestro entra, dá três batidas com a vareta, e do caos nasce a harmonia. O maestro é Pitágoras de Samos, cuja influência nas ideias, e, com isso, no destino da raça humana, foi provavelmente maior que qualquer outro indivíduo anterior a ele ou posterior (KOESTLER, 1989, p.7).

Quando Koestler se refere ao pensador como maestro, ele (Koestler) faz uso de um recurso metafórico. O Maestro em uma orquestra é o componente que faz a banda ter uma relação harmônica, conduzindo-a para uma melodia. Assim Pitágoras⁴ fez quando lançou sua teoria sobre a natureza harmônica; sua influência é de tal monta que a sua repercussão para a história da humanidade é verdadeiramente gigantesca, principalmente naquilo que concerne ao critério científico quando propõe leis numéricas e regularidades baseadas em números que explicam o universo. Sobre isso Nietzsche (Pré-Socráticos, 1973) relata que a ciência é pitagórica: “Trata-se de encontrar fórmulas matemáticas para as forças absolutamente impenetráveis. Nossa ciência é, nesse sentido, pitagórica”.

Grandes nomes da ciência bebem do pensamento pitagórico, como exemplos: D’Alembert, Fourier, Millikan, Planck, Einstein, Bohr (BUNGE, 2011). Em seus programas científicos estão presentes a ideia de quantização.

D’Alembert e Fourier, estudaram a quantização⁵ da frequência em uma onda mecânica, onde essa é determinada pela soma dos harmônicos; e esses são representados por números naturais diferentes de zero.

Millikan em 1911, descobriu que o valor da carga do elétron (carga elementar) se constitui em quantidade mínima. Todas as outras cargas são múltiplas desse valor mínimo, ou seja, o fator de multiplicidade é também um natural, diferente de zero.

A relação de Planck-Einstein em 1905, $E=hf$, se baseia na quantização da energia, sendo a energia irradiada múltipla de uma energia mínima (hf), h é constante de Planck e f a frequência da onda; a energia mínima é aumentada a depender de uma quantidade de fótons (n).

A química também englobou a teoria Pitágoras no que concerne às leis das proporções

⁴ Quando falamos de Pitágoras, estamos nos referindo à Escola Pitagórica no sentido lato do termo e não necessariamente à pessoa singularíssima de Pitágoras.

⁵ Embora d’Alembert e Fourier sejam cientistas pré-quânticos, aqui estamos esposando a tese de Bunge segundo a qual, no sentido lato do conceito, os trabalhos desses autores já contêm, pelo menos implicitamente, como precursores, ideias quânticas.

definidas para formação de um produto. Lembrando que para ocorrer reação química os reagentes devem estar em proporções matematicamente múltiplas, sobre isso Usberco e Salvador, enunciam a Lei das Proporções Definidas, elaborada por Proust: “Toda substância apresenta uma proporção em massa constante na sua composição” (USBERCO; SALVADOR,2006). A Proporção específica narrada por Usberco e Salvador, comunga com os estudos dos pitagóricos sobre os sons emitidos num instrumento de corda, já que a emissão de uma determinada nota musical, está em função do comprimento da corda do instrumento. Sobre isso, Gleiser fala:

Pitágoras percebeu que os sons que chamamos de harmônicos vêm de relações diretas do comprimento da corda de um violão (para citar um instrumento moderno), expressas em termos de números inteiros. Por exemplo, uma oitava acima é obtida ao soarmos a corda na metade de seu comprimento, ou seja, na razão de $1/2$. Uma quinta é obtida soando a corda a $2/3$ de seu comprimento; uma quarta, a $3/4$. Uma determinada substância pura contém sempre os mesmos elementos combinados na mesma proporção em massa, independente da sua origem (GLEISER,2007).

Na presente Dissertação serão mostrados os seguintes problemas científicos, que mostram a fertilidade do programa pitagórico: *O Átomo de Bohr (Capítulo 5)*, *Proporção de uma equação química (Capítulo 6)* e *Harmonia cosmológica (Capítulo 7)*.

CAPÍTULO 5

ÁTOMO DE BOHR E A EXPLICITAÇÃO TEÓRICA DA CONSTANTE DE RYDBERG INTERPRETADA À LUZ DA CONCEPÇÃO PITAGÓRICA

5.1 Átomo de Bohr

Bohr em 1913, propôs uma teoria explicativa das linhas espectrais do átomo de hidrogênio na qual combinava elementos da tradição teórica então existente, como a mecânica e a eletrostática, com elementos novos como o da existência de estados estacionários de energia, enumerados por números inteiros positivos não nulos ($n = 1, n = 2, n = 3 \dots$); esses estados estacionários estão relacionados com órbitas circulares que o elétron descreveria em torno do núcleo.

Quando ocorre a transição do elétron entre esses estados estacionários, existe uma emissão de luz, cujas frequências podem ser observadas no espectro exibido pelas linhas espectrais.

Todo esse procedimento adotado por Bohr contrastava com a eletrodinâmica de Maxwell, pois de acordo com ela uma carga acelerada, tal como prescrevia o modelo de Bohr, emitiria energia e muito rapidamente colapsaria no núcleo, tornando impossível a explicação da estabilidade do átomo tão evidentemente demonstrada pela estabilidade das riscas espectrais.

Além do mais, o resultado clássico asseverava que valores de energia e frequência do átomo percorrem um domínio contínuo de valores. Contrastando radicalmente com valores de energia e frequência, em função dos números inteiros não nulos, correspondentes aos saltos quânticos entre os níveis estacionários de energia.

Bohr para validar a estabilidade do seu modelo atômico, usou um artifício teórico no intuito de conciliar o conhecimento novo (velha física quântica) ao conhecimento anterior (física clássica). Mediante tal procedimento, foi capaz também de explicitar uma constante experimental da espectroscopia, denotada por constante de Rydberg, tudo isso em termos de três grandezas basilares da teoria quântica: a carga do elétron, a massa do elétron e a constante de Planck. Este procedimento que consiste em incorporar o conhecimento antigo como um caso limite do novo conhecimento, constitui-se no que chamamos de Princípio da Correspondência.

No caso específico da teoria do átomo de Hidrogênio, trata-se do *Princípio da Correspondência de Bohr*.

5.2 O que é o Princípio da Correspondência? E como se chegou a ele no modelo de Bohr?

A ligação entre dois conhecimentos de naturezas distintas é um exercício mental que leva o estudioso a uma melhor interpretação do objeto analisado, propiciando aprendizagem significativa.

Nesse exercício, o sujeito compreende que as ideias e teorias anteriores não devem ser descartadas, mas sim entendidas como pilar para a formação de um saber mais avançado; sobre isso Newton em carta destinada a Hooke, no ano 1676, fala: “Se vi mais longe foi por estar de pé sobre ombros de gigantes”.

Mediante o contexto apresentado, podemos notar que a ciência pode conhecer progresso, mesmo tendo matrizes teóricas que possuem poucos fundamentos lógicos ou que ainda não expliquem satisfatoriamente a realidade de forma concreta, isso é, podemos sair de um contexto inconsistente para algo superior. As inconsistências as quais foram referidas aqui não são absurdos do tipo: “ $1 + 1 = 3$ ”, “o quadrado de um número negativo resulta em número negativo”, “um número pode ser ao mesmo tempo par e ímpar”. Esses tipos de inconsistências são absurdistas, e qualquer conclusão partida dessas afirmativas não nos fazem chegar a lugar algum.

Um exemplo claro de que se pode avançar com fundamentos inconsistentes é o do modelo atômico de Bohr em 1913, no seu modelo o elétron orbita em torno do núcleo, estando assim em conflito com a eletrodinâmica, pois o elétron em movimento circular, ainda que uniforme, estaria sujeito à aceleração centrípeta e deste modo emitiria energia e conseqüentemente se chocaria com o núcleo em brevíssimo espaço de tempo, o que acarretaria a impossibilidade de explicação da estabilidade da matéria.

Bohr para dar sentido à sua teoria, fez confluír os fundamentos da mecânica clássica e da eletrodinâmica clássica com certos fundamentos da então e nascente velha mecânica quântica. A mecânica clássica e o aspecto limite da eletrodinâmica clássica conhecido como eletrostática entram em sua teoria nos seguintes passos: 1) a força colombiana, atuando como

força centrípeta entre o elétron e o núcleo; 2) a existência de energia potencial elétrica entre elétron e o núcleo; 3) a presença de energia cinética por conta do movimento circular uniforme realizado pelo elétron. Já a da mecânica quântica, ele toma como referência teórica: a relação de Planck-Einstein em que a energia emitida por um fóton é diretamente proporcional à sua frequência, tudo isso leva a uma expressão que mostra os valores possíveis de energia do átomo percorrendo um espectro discreto de valores.

A relação de correspondência em Bohr se dá a partir do contexto explicitado acima, a promoção do diálogo entre duas ramificações da Física: clássica e quântica, acarretando o surgimento de seu modelo atômico. Essa relação de correspondência se dá para superar essa inconsistência.

Para compreender melhor esse esquema, será mostrado a seguir, em três seções os seguintes tópicos: a física clássica, a física quântica nos estudos de Bohr em 1913, e a explicitação teórica da constante de Rydberg.

5.2.1 A Física Clássica no Átomo de Bohr

Para viés de simplificação, analisaremos o modelo de Bohr pelo átomo de hidrogênio não ionizado (estável). Onde o número atômico (Z) é igual a 1 (hidrogênio modelo isotópico H), isto significa que a carga do núcleo é $+e$. Lembrando que número atômico é igual ao número de prótons, sendo a carga do núcleo definida pela quantidade de prótons encontrada em cada átomo, logo define-se a carga do núcleo (Q) como a multiplicação do número atômico (Z) pela carga de 1 próton ($+e$):

$$Q = Ze (1) .$$

Tomemos uma imagem pictórica de um pequeno ponto material de carga negativa (elétron) descrevendo o movimento circular uniforme em torno de um ponto material mais massivo (núcleo), onde a distância entre o corpo em movimento e o centralizado é o raio possuindo comprimento r .

Pelo olhar clássico a energia total (E) desse sistema, se dá pela soma da energia cinética do elétron (K) com energia potencial eletrostática (U):

$$E = K + U(2).$$

A energia cinética nesse conjunto se dá pelo movimento do elétron em torno do núcleo, pela definição o valor da energia cinética (K) é: metade da massa (m) do corpo em movimento, nesse caso o elétron (admitimos o núcleo em repouso), vezes o módulo quadrático da velocidade (v^2) do elemento em movimento. O valor de K é representado pela seguinte equação:

$$K = \frac{m}{2} \cdot v^2 (3).$$

A energia potencial elétrica (U), ocorre devido à interação elétrica do núcleo com o elétron. O valor da energia potencial elétrica é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional à distância entre elas, multiplicado pela constante eletrostática (k). Como as cargas são iguais, apresentando apenas sinal contrário (carga do núcleo = $+Ze$, carga do elétron = $-e$), o valor de U é igual:

$$U = -k \frac{Ze^2}{r} (4).$$

Aplicando os valores de (3) e (4), na equação (2), podemos escrever a energia do átomo de hidrogênio como:

$$E = \frac{m}{2} \cdot v^2 - k \frac{Ze^2}{r} (5).$$

As equações de (2) a (5), se referem à composição energética do sistema. Para melhor compreensão do modelo de Bohr, cabe uma análise das forças atuantes. O elétron realiza movimento circular uniforme em torno do componente central (núcleo); nesse tipo de movimento existe uma força dirigida ao centro da circunferência denominada de força centrípeta (F_c). Nesse caso, a força centrípeta é a força de interação eletrostática (F_e) entre as cargas, sendo então definida pela Lei de Coulomb.

A intensidade da força centrípeta (F_c) é: diretamente proporcional ao módulo do vetor velocidade tangencial ao quadrado (v^2); inversamente proporcional à distância da partícula em movimento em relação ao ponto fixo (r); e múltiplo do valor massivo (m) da partícula

em movimento que nessa situação será o elétron. Assim procedendo, chegamos à seguinte expressão:

$$F_c = \frac{v^2}{r} m \quad (6).$$

A força coulombiana (F_e) é uma força de campo, onde essa depende da distância entre os corpos, ela surge através da interação entre as cargas, nesse caso trata-se de cargas com natureza diferentes, negativa (elétron) e positiva (carga do núcleo), essa força é de atração, direcionando o elétron menos massivo para o núcleo. A intensidade dessa força é calculada por uma relação direta entre produto modular das cargas ($|+Ze| \cdot |-e|$) e inversa com o quadrado da distância (r^2), temos a relação:

$$F_e = \frac{Ze^2}{r^2} k \quad (7).$$

Como a força coulombiana atua como força centrípeta, igualamos a equação (6) com a (7):

$$\frac{v^2}{r} m = \frac{Ze^2}{r^2} k \quad (8).$$

Simplificando r , em ambos os lados, para valores de $r \neq 0$:

$$v^2 m = k \frac{Ze^2}{r} \quad (9).$$

Combinando o resultado da fórmula (9) na (5), então nesta nova expressão o valor da energia total (E) ficará em função de e (carga elementar) e raio da órbita (r):

$$E = -k \frac{Ze^2}{2r} \quad (10).$$

Vale lembrar que o elétron está em movimento circular uniforme, logo ele apresenta velocidade angular (ω), a relação que liga a velocidade linear (v) à angular é:

$$v = \omega \cdot r \quad (11).$$

Dadas as expressões acima, vamos fazer algumas manipulações; substituindo a fórmula (11) na (9), e isolando ω obtemos:

$$\omega^2 = \frac{kZe^2}{r^3m} \quad (12).$$

Colocando o módulo na equação (10), e elevando ambos os membros à terceira potência se chega ao seguinte resultado:

$$|E|^3 = \frac{k^3Z^3e^6}{8r^3} \quad (13).$$

Dividindo $|E|^3$ por ω^2 :

$$\frac{|E|^3}{\omega^2} = \frac{k^2e^4mZ^2}{8} \quad (14);$$

Pela equação (14), visualiza-se uma combinação de termos, em que para cada valor de ω (velocidade angular) se tem valor para E (energia total), onde seu domínio e imagem é o conjunto dos números reais. Aqui, evidentemente, k (constante eletroestática), e (carga elementar), m (massa do elétron) e o número 8 são elementos com valores constantes.

5.2.2 A Física Quântica no Átomo de Bohr

Para superar o problema do colapso do átomo, devido ao movimento circular uniforme do elétron, Bohr enunciou postulados basilares da Física Quântica que dão suporte teórico ao seu modelo atômico.

Em seus postulados, Bohr em 1913, descreve que só é possível ocorrer o movimento do elétron em órbitas específicas (estados estacionários), onde a partícula negativa estando em uma dessas órbitas, impossibilitaria o átomo de emitir irradiação. Nessa condição, o átomo somente irradiaria uma quantidade de energia com uma frequência específica, quando o elétron saltasse de um estado estacionário para outro. Vejamos a seguir os postulados propostos pelo cientista.

Primeiro postulado: O elétron do átomo de hidrogênio pode se mover somente em certas órbitas não irradiantes, circulares, chamadas de estados estacionários.

O segundo postulado compara a frequência da irradiação do átomo em relação a energia das órbitas, onde diferença de energia provocado pela mudança de estados estacionários, resulta na liberação de energia em forma de radiação (luz):

$$f = \frac{E_s - E_n}{h} \quad (15) .$$

Aqui, E_s denota-se como a energia do nível inicial, e E_n denota-se como energia do nível final; h denota a constante de Planck.

Terceiro postulado de Bohr, diz que o momento angular do elétron é quantizado:

$$mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad (16) .$$

Onde n é conjunto dos números naturais não nulos.

Dadas as relações acima, Bohr inseriu em sua teoria, a equação de J.J. Balmer, 1885, em que essa descreve as riscas espectrais visíveis, emitidas pelo átomo de hidrogênio:

$$f = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{s^2} \right) \quad (17) .$$

Nessa equação f é frequência emitida pelo átomo. Os estados estacionários respectivamente final e inicial são representados por n e s , respectivamente. R é uma constante empírica, conhecida como constante de Rydberg.

Bohr interpretou a equação (17), através da equação (15), chegando seguinte resultado:

$$\frac{E_s - E_n}{h} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{s^2} \right) \quad (18) .$$

Tomando como base que a frequência emitida é uma grandeza positiva, e a energia do átomo para os estados estacionários deve ser negativa, então encontra-se à seguinte equação:

$$E_n = -R \frac{h}{n^2} \quad (19) .$$

Pela equação (19) , vemos que a energia está descrita através dos estados estacionários específicos (n) , logo esse espectro de valores da energia não é contínuo, e sim um espectro discreto, pois ele depende do fator n , e que esses valores pertencem ao conjunto dos números naturais diferentes de zero.

5.2.3 Conciliação entre as mecânicas, quântica e clássica, e a explicitação da constante de Rydberg através do princípio da correspondência

Existe uma contradição entre a fórmula (14) e a fórmula (19), essa contradição é evidente, pois pela equação (14) podemos facilmente depreender que para um dado valor de ω corresponderá um dado valor de E e que todos os pares de valores (ω, E) , percorrem um espectro contínuo, isso é, para qualquer valor de ω se tem um valor para E . Já na fórmula (19) somente encontramos valores de E , de acordo com estados estacionários específicos (n), onde n é o conjunto dos números naturais diferentes de zero. Esse espectro de valores de E em (19) percorre valores discretos.

$$\frac{|E|^3}{\omega^2} = \frac{k^2 e^4 m Z^2}{8} \quad (14)$$

$$E_n = -R \frac{h}{n^2} \quad (19) .$$

Bohr, conciliou a fórmula (19) com a fórmula (14) por meio do princípio da correspondência, ligando o modelo quântico ao clássico. Assim procedendo, ele mostrou que o modelo clássico se constitui em um caso limite do modelo quântico, quando os números quânticos são muito grandes, isto é, $n \gg 1$.

A conciliação acontece para valores muito grandes dos números quânticos, isto é, quando $n \gg 1$. Nesse domínio os valores de energia percorrem um espectro de valores muitíssimo próximos, ou seja, trata-se de um quase contínuo.

Manipulando algebricamente a expressão matemática 17, chegamos aos respectivos valores:

$$f = R \left(\frac{s^2 - n^2}{n^2 s^2} \right) \quad (20) .$$

$$f = R \frac{(s-n)(s+n)}{n^2 s^2} \quad (21) .$$

Tomando valores $n \gg 1$, os valores de s também são muito grandes ($s \gg 1$). Para esses valores, teremos em ótima aproximação:

$$(s - n) = 1 ; (n + s) = 2n ; n^2 s^2 = n^4 \quad (22) .$$

Tendo em vista (22), pode-se reescrever a fórmula (20) na seguinte formatação:

$$f = 2R \frac{1}{n^3}$$

Equivalentemente podemos escrever:

$$n = \left(\frac{2R}{f} \right)^{1/3} \quad (23) .$$

Com a relação (23), explicitamos o valor de n , considerando já aí um quase contínuo, para $n \gg 1$. Substituindo esse valor na equação (19) obtém-se:

$$\frac{|E|^3}{f^2} = \frac{h^3 R}{4} \quad (24) .$$

Pode-se escrever a frequência, por meio da velocidade angular:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (25) .$$

Aplicando a fórmula (25) na (24) obtém-se:

$$\frac{|E|^3}{\omega^2} = \frac{h^3 R}{16\pi^2} \quad (26) .$$

Note que a equação (26) não mais contém o termo n . Isso tem significado, pois a expressão (26) não mais diz respeito a um espectro discreto, e sim ela diz respeito a valores da energia percorrendo um espectro quase contínuo e aqui tal espectro deve ser tomado como contínuo nessa nossa aproximação. Isso nos permite comparar diretamente a fórmula (26) com a fórmula (14), onde para cada valor de ω corresponde um valor de E percorrendo um contínuo de valores. Isso mostra que o modelo quântico não abandonou o modelo clássico.

A maior prova da relação dialógica entre as teorias quânticas e teorias clássicas no átomo de Bohr é a explicitação teórica da constante de Rydberg (R), que anteriormente era somente um dado empírico. Igualando a equação (26) à equação (14), e isolando o valor de R (constante de Rydberg) obtemos:

$$R = \frac{2\pi^2 k^2 e^4 Z^2 m}{h^3} \quad (27) .$$

O valor da equação de Rydberg, está descrito em função de grandezas clássicas como massa do elétron (m), constante eletrostática (k) e carga elementar (e), além da constante de Planck que é um elemento basilar da Física Quântica. Nesse processo a teoria de Bohr para o átomo de hidrogênio exclui, conhecimentos anteriores, mas os integram como um caso limite do novo conhecimento e assim se estabelecendo o princípio da correspondência no átomo de Bohr.

5.2.4 O princípio da correspondência ilustrado com a ajuda de um diagrama esquemático.

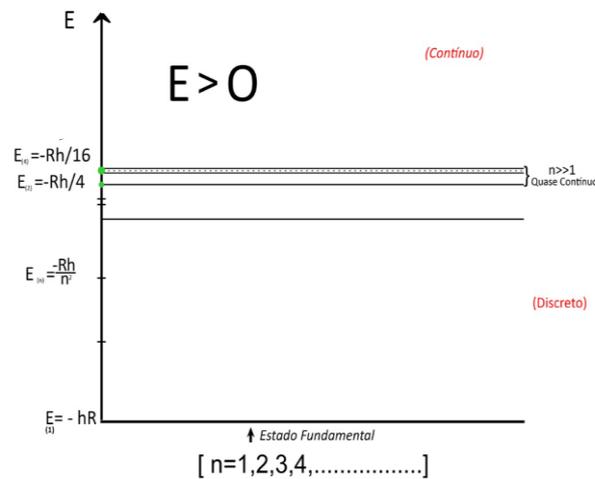


Figura 1: Diagrama esquemático
Fonte: Criada pelo autor.

O diagrama disposto acima é bastante ilustrativo para nos ajudar na compreensão do que seja, de fato, o Princípio da Correspondência de Bohr.

Será analisado inicialmente à fórmula (14). Como o segundo membro de (14) constitui-se em uma constante, então é evidente que para um dado valor da frequência ω , teremos um dado valor da energia E ; esses pares de valores (E , ω) percorrem um contínuo.

Agora se decorrerá à fórmula (19). Estamos aqui no domínio de energias negativas (estados estacionários/ estados ligados) para os quais valores possíveis dessa energia obedecem a um discreto, a saber, $E_1 = -Rh$, $E_2 = -Rh/4$, $E_3 = -Rh/9$, $E_4 = -Rh/16$ e assim sucessivamente para quaisquer outros valores inteiros $n > 0$.

As fórmulas (14) e (19) apresentam-se em contradição, pois a fórmula 14 diz respeito a um espectro contínuo de valores da energia, enquanto a equação 19 diz respeito a um discreto de valores possíveis da energia.

Como conciliá-las?

Bohr então estudou o espectro de valores possíveis de energia assumidos pelos estados estacionários, no caso em que os números quânticos fossem muito maiores que a unidade, ou seja, estudou o domínio de valores da energia do espectro discreto para $n \gg 1$. Esse espectro

discreto corresponde a um quase contínuo, na medida em que esses níveis estão infinitesimalmente próximos uns aos outros. Então o espectro discreto na região do quase contínuo, pode para todos os propósitos práticos, ser estudado como se espectro contínuo fosse (ver figura 1).

Um procedimento matemático bastante simples, tal como foi mostrado anteriormente, nos leva a estabelecer nessa região do quase contínuo a fórmula 26. A fórmula (26) pode então ser comparada diretamente com a fórmula (14), e isso nos leva à explicitação da constante de Rydberg (equação 27) em termos de quantidades basilares da física atômica.

O resultado da equação 27 é importantíssimo, pois mostra o conhecimento anterior como um caso particular ou um caso limite do conhecimento novo. Esse é um dos aspectos de continuidade do conhecimento. No entanto, há muitos outros aspectos que revelam descontinuidade do novo conhecimento em relação ao conhecimento antigo.

Assim a ciência revela a sua complexidade incluindo tanto aspectos contínuos quanto aspectos descontínuos.

5.3 Onde estão inseridas as Ideias Pitagóricas no Modelo Atômico de Bohr?

Em sua visão unificadora, Pitágoras enxergou o número enquanto elo unificador de tudo que existe e assim o número é a essência da realidade. A Escola Pitagórica se referia ao que hoje entendemos por números naturais. Na teoria de Bohr os estados estacionários de energia aparecem enumerados $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$ e assim sucessivamente. Desta maneira podemos atribuir à qualidade de *musicalidade* na esfera do pensamento em física quântica a uma característica pitagórica que Einstein tão bem notou na obra de Bohr:

O fato de essa insegurança e contradição à fundação desta terem sido suficientes para levar Bohr, um homem de instinto acurado e sensibilidade privilegiada, a descobrir as leis das linhas de camadas espectrais e das camadas esféricas dos átomos e seu significado para a química, pareceu-me então um milagre –e até hoje me parece. É a mais alta forma de musicalidade na esfera do pensamento’’ (EINSTEIN,1982, p.49).

A palavra que revela Pitágoras no excerto acima é *musicalidade*. Einstein percebeu isso em Bohr. Na musicalidade está inserido a ideia do padrão harmônico que se encontra na teoria do pré-socrático, onde a *physis* (natureza) é ordenada de forma específica assim como a música,

sendo a harmonia que faz ser possível a existência do cosmo, a revelação dela é dada de forma matemática.

A especificidade também se encontra presente no microcosmo (átomo), pois só é possível sua existência se o elétron orbitar em determinadas camadas energéticas (estados estacionários) em que eles são representados por números naturais.

Para Pitágoras o movimento de qualquer corpo celeste é circular e uniforme, e todos eles possuem o mesmo ponto de rotação; sobre isso em um artigo recente publicado na Revista Brasileira de Física, Damásio diz : “Para Pitágoras o movimento dos astros deveria ser circular e uniforme (perfeito e regular) todos estes círculos deveriam ter o mesmo centro” (DAMASIO,2011).

A ideia de órbita circular do elétron e o movimento circular uniforme em torno do núcleo (ponto fixo) são fatores que mostram a filosofia pitagórica inserida nos estudos de Bohr em 1913. Bohr inseriu em sua teoria, pontos da astronomia pitagórica, ligando o macrocosmo (movimento dos astros) ao microcosmo (movimento do elétron).

Entre os pontos mais marcantes na teoria de Bohr podemos elencar o Princípio da Correspondência, bem como as ideias de lavra matemática extraída do pensamento do pré-socrático, ideias essas que remontam ao número (subentenda-se, número natural) como essência da realidade.

Pitágoras ligou dois infinitos através da relação de correspondência, o universo aos números, nessa ligação o filósofo encontrou uma relação matemática entre notas musicais e tamanho do comprimento da corda em um instrumento (GLEISER, 2007). Já Bohr faz uma comunicação (correspondência) entre a teoria clássica à quântica, trazendo uma relação perfeita (harmônica) entre a energia quantizada dos estados estacionários infinitos (equação 19), para a energia contínua (equação 14). O físico define esses elos para os estados estacionários muito grandes ($n \gg 1$), levando o conjunto infinito dos naturais (modelo quântico) ao conjunto infinito de valores racionais (modelo clássico), chegando ao valor teórico da constante de Rydberg (equação 27) que foi a priori encontrada de forma empírica, assim Bohr relacionou um fator natural com elementos numéricos, assim como o pré-socrático fez em seus estudos sobre a música.

CAPÍTULO 6

A LEI DE GAY LUSSAC, A PROPRIEDADE DIATÔMICA DAS MOLÉCULAS DE HIDROGÊNIO E DE OXIGÊNIO, E A LEI DE STANISLAO CANNIZZARO ENQUANTO LEITURAS PITAGÓRICAS DO MUNDO

6.1 A fórmula da água

Em artigo publicado na revista Chemistry, em estupenda narrativa, Ricardo Ferreira (ver Ferreira, 1970) nos seus estudos, mostra as dificuldades históricas com as quais os cientistas em meados do século XIX se depararam a fim de que pudessem obter de maneira satisfatória uma simples fórmula química como a fórmula da água.

Muitas pessoas que hoje em dia estudam química não se dão conta das dificuldades que constituíram desafios de monta para esses cientistas. Acontece que os estudantes hodiernos já internalizaram esse conhecimento em suas estruturas cognitivas e assim, eles podem pensar que tudo isso se deu muito trivialmente. Mero engano!

O objetivo aqui é o de aproximar esse conjunto de episódios acerca de uma possível história da fórmula da água com o espírito pitagórico. Esse conjunto de episódios parece corroborar o espírito na lavra do programa pitagórico.

Observe como:

A famosa lei de Avogadro estabelece que em condições normais de temperatura e pressão todo o gás tem o mesmo número de moléculas; desse modo, 1 volume de oxigênio e 1 volume de hidrogênio, têm os dois o mesmo número de moléculas, ou seja, o famoso número de Avogadro. A lei de Avogadro, explica que dois recipientes, com o mesmo volume, contendo gases diferentes, à mesma temperatura e pressão, deveriam conter o mesmo número de moléculas.

Também se sabe, do que foi aprendido na escola, que a combinação de 1 volume do gás oxigênio com 2 volumes do gás hidrogênio redundava em dois volumes de vapor d'água.

Tudo isso parece estar em contradição pois como a combinação de 1 volume com 2 volumes acarreta, como resultado, 2 volumes e não 3?

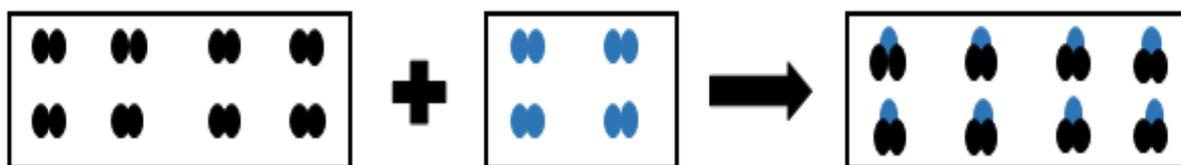
No entanto, essa é apenas uma aparente contradição como veremos a seguir.

Para compreender significativamente o problema descrito, se deve ter em mente que as moléculas de oxigênio e de hidrogênio são ambas diatômicas, tal como Ferreira mostra em seu artigo. Esta descoberta se constituiu em importante feito científico de Stanislao Cannizzaro (1826-1910).

Essa compreensão exige que nós nos atenhamos a dois princípios: o primeiro diz respeito ao princípio de Avogadro, segundo o qual em condições normais de temperatura e pressão todos os gases exibem o mesmo número de moléculas, número esse conhecido como número de Avogadro; o segundo é o que assevera que as moléculas de oxigênio e de hidrogênio são ambas moléculas diatômicas. A explicação do porquê essas moléculas serem diatômicas veio à luz com o advento da mecânica quântica, no entanto, antes mesmo do advento da mecânica quântica, Cannizzaro já tinha estabelecido a propriedade de que tais moléculas sejam diatômicas como um requisito necessário para o estudo da fórmula da água por meio da conhecida Lei de Gay Lussac.

Para a compreensão de que a combinação dos dois princípios acima nos leva à solução do problema, veja a figura abaixo:

Figura 2



Fonte: Autor

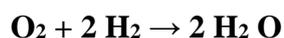
Na figura disposta acima (figura 2) cada bolinha azul à esquerda da flecha denota um átomo de oxigênio e cada bolinha escura à esquerda da flecha denota um átomo de hidrogênio. Cada conjunto de 4 (quatro) moléculas diatômicas (cada uma dessas moléculas exibida na figura como dois átomos unidos) representa um volume do gás, ou seja, um mol. Isso significa

que na figura, o conjunto de 4 (quatro) moléculas diatômicas à esquerda da flecha representam $6,02 \times 10^{23}$ moléculas. Claro que essa representação é meramente arbitrária; poderíamos optar por qualquer outra escolha como por exemplo representar o número de Avogadro por um conjunto de 8, 16 etc. Esse expediente é meramente ilustrativo e tem apenas motivação didática.

Podemos facilmente constatar mediante o auxílio da figura em tela que a combinação de 1 volume de oxigênio com 2 volumes de hidrogênio redundam em 2 volumes de vapor d'água e não 3, como à primeira vista se poderia esperar se apenas nos ativéssemos à aritmética.

Repare que à direita da flecha temos 2 conjuntos, cada um deles de 4 (quatro) agrupamentos de átomos, cada agrupamento desse contendo respectivamente 2 átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio.

Podemos depreender ainda, diretamente da figura acima, que o mesmo número de átomos de oxigênio comparece tanto à direita quanto à esquerda da flecha, e o mesmo acontece para os átomos de hidrogênio. Assim, podemos compreender a fórmula:



6.2 Por que a aritmética nos deixava em apuros?

Pela aritmética, $2 + 1 = 3$ sendo o volume uma grandeza termodinamicamente extensiva então isso deveria se dar para a química. Mas isso, por si só, não é suficiente pois durante a formação molecular d'água, há interações entre os átomos, e assim o fenômeno enquanto natureza físico-químico não é redutível à mera contagem.

Em suma, a aritmética continua válida, mas nós temos que introduzir, além da aritmética, também uma propriedade física que é a interação entre os átomos intervenientes.

Um aspecto importante para se ter em mente é que na situação representada à esquerda da flecha, isso é, quando os volumes são preparados para se combinarem entre si, mas antes do processo de combinação propriamente dito, cada uma das moléculas diatômicas está suficientemente distante umas das outras e não interagem entre si de maneira apreciável; em outras palavras, essas interações são consideradas nulas.

Quando os gases são combinados começa o processo de interação entre os átomos constituintes e essa interação é que se dá em proporções muito bem definidas. Isso se dá na "passagem" *da esquerda para a direita da flecha*. É justamente essa interação que constitui uma combinação de lavra pitagórica.

6.3 E onde está o programa de lavra pitagórica?

É visível que os dois moles de gás hidrogênio e o um mol de gás oxigênio, não se combinam arbitrariamente, e sim segundo proporções bem definidas nas quais os números inteiros diferentes de zero, ou melhor, os números naturais entram decisivamente em cena. Sobre esse princípio, Usberco e Salvador, enuncia a Lei da combinação de volumes, estabelecida por Lussac:

Nas mesmas condições de pressão e temperatura, os volumes dos gases participantes de uma reação química têm entre si uma relação de números inteiros e pequenos. (USBERCO; SALVADOR,2006, p.243).

Ora, essa afirmação nos mostra uma harmonia, na medida em que podemos verificar isso através de um padrão de proporção tanto para a formação do vapor d'água quanto para a formação da amônia.

Para a formação da água o padrão de proporção é 1:2:2, isso significa que com 1 volume de gás oxigênio mais 2 volumes de gás hidrogênio, obtemos 2 volumes de água. A relação proporcional também é encontrada na formação de várias outras reações químicas, por exemplo, na formação da amônia temos o padrão 1:3:2, isto é, com a combinação de 1 volume de nitrogênio com 3 volumes de hidrogênio, obtemos 2 volumes de amônia.

Isso se dá semelhantemente às notas musicais de um instrumento de corda, para o qual cada valor da frequência sonora emitida corresponde uma proporção específica do comprimento da corda.

Para ocorrer uma reação química é necessário existir uma proporção específica entre reagentes e produto. A química enquanto ciência analisa e registra esses padrões. Os padrões que ocorrem nessas reações lembram a natureza harmônica proposta por Pitágoras. Sobre isso

Nietzsche (Pré-Socráticos, 1973) diz: “Na química, temos uma mistura de atomismo e de pitagorismo”.

CAPÍTULO 7

HARMONIA COSMOLÓGICA, UMA IDEIA PITAGÓRICA

7.1 Lei da gravitação universal

Antes dos estudos de Newton (1642-1727), acreditava-se que os corpos eram direcionados ao solo durante uma queda, pois a superfície da terra era o local específico de corpos massivos. A interpretação dita acima, sobre a causa do movimento dos objetos que estão em queda livre, possui fundamentação teórica na física aristotélica, segundo Hart-Davis et al:

O pensamento científico havia sido dominado pelas ideias de Aristóteles, que chegara às suas conclusões sem realizar experimentos para testá-las. Aristóteles ensinou que objetos em movimento só continuam se movendo se forem empurrados e que objetos pesados caem mais depressa que os mais leves. Explicou que objetos pesados caem na terra porque estão se movendo em um local natural. (HART- DAVIS et al, O Livro da Ciência, 2016, p.64).

Newton compreendeu a relação atrativa entre um objeto em queda livre e o planeta, diferente de Aristóteles, a compreendeu por meio da Lei da Gravitação Universal. Considerando um objeto distante do solo a uma altura h , esse sofrerá deslocamento acelerado em direção à superfície, pois há uma força atuante nele com resultante não nula. A aproximação se dá devido à força de interação, entre a massa do planeta e do móvel, ou seja, a força interativa entre massas é a força gravitacional. Considere por ilustração uma maçã caindo de uma árvore, isso acontece devido a força interativa entre o planeta terra e a fruta. Para Halliday, Resnick e Walker:

Se fosse verdadeira a lenda de que foi a queda de uma maçã que inspirou Newton a formular a lei da gravitação, a força que ele teria observado seria a que existe entre a massa da maçã e a massa da Terra (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p.90).

Como a interação entre a massa do objeto e a massa planetária é devido a uma força, nesse caso a força gravitacional, serão atribuídas aqui algumas propriedades relacionadas a essa grandeza física de acordo com a física newtoniana, no que se refere ao estudo dessa variável.

A força que o planeta causa no objeto, possui valor modular igual e sentido oposto, a força que objeto provoca no planeta, essa relação conceitual possui correspondência com a terceira de Newton, segundo Halliday, Resnick e Walker:

A terceira lei de Newton afirma o seguinte: quando dois corpos interagem, as forças que cada corpo exerce sobre o outro, são iguais em módulo e têm sentidos opostos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p.90).

A massa é uma medida inercial, quanto maior a massa do corpo, com mais dificuldade ele altera seu estado de movimento. Por isso, qualquer corpo caindo de uma altura h , é deslocado aceleradamente, enquanto o planeta possui deslocamento ilusório. De acordo com segundo Hart-Davis et al:

A aceleração depende da massa do objeto. Para uma determinada força, um objeto com pouca massa vai acelerar mais que um com mais massa (HART- DAVIS et al, O Livro da Ciência, 2016, p.66).

Newton universalizou a interação entre os corpos, sua conclusão foi: o movimento de um objeto em queda livre em relação ao solo, possui a mesma natureza causal da terra orbitando em torno do Sol. Isso acontece, pois há uma força de aproximação entre matéria-matéria, não importa o valor da massa do objeto e nem sua extensão, em qualquer lugar do cosmo matéria sempre atrai matéria, como dizem Alonso e Finn:

A segunda contribuição de Newton, e talvez a maior para a Física, foi a formulação da lei da gravitação universal. Esta lei prevê a interação atrativa entre dois corpos, planetas ou pequenas partículas (ALONSO e FINN, 1972, p.194).

A lei da gravitação universal de maneira generalista, pode ser representada por meio do seguinte esquema teórico: considere dois corpos de massa m_1 e m_2 , com uma distância (r) um do outro; a força (F) cujo o corpo de massa m_1 causa em m_2 , possui valor igual e sentido oposto a força (F) que m_2 provoca em m_1 . A força F , tem um caráter atrativo, e seu valor modular (f) é diretamente proporcional ao produto das massas ($m_1 \cdot m_2$) e inversamente proporcional ao quadrado da distância (r^2), múltipla de uma constante de proporcionalidade(G); o valor de f segue representado pela equação abaixo:

$$f = G.m_1.m_2.r^{-2} \quad (28)$$

7.2 Interpretação Newtoniana da Terceira Lei de Kepler

Consideremos uma condição, onde um planeta de massa m , orbita uma estrela com valor massivo M . Nesse sistema, o corpo de massa menor (planeta), realiza um movimento de translação em torno do corpo com maior medida inercial (estrela). Nesse caso se está considerando, a estrela como um ponto fixo.

No sistema kepleriano, o planeta realiza uma trajetória elíptica, estando o Sol em um dos focos. Seguindo o sistema de configuração planeta-sol, a menor distância entre os corpos é chamada de periélio, já a maior é conhecida como afélio. Para Halliday, Resnick e Walker (2016, p.112): ‘‘Todos os planetas se movem em órbitas elípticas, com o Sol em um dos focos’’.

Mediante essas condições, o planeta possui um raio médio (R), onde o valor de R é encontrado por meio da média aritmética entre a distância afelial e perielial. Sabendo desse valor, Kepler relaciona o valor de R , com o período orbital do corpo móvel. Para ele, o quadrado do período translacional é diretamente proporcional ao cubo do raio médio. Alonso e Finn, falam sobre a terceira kepleriana que descreve o movimento planetário, segundo eles (1972, p.190): ‘‘Os quadrados dos períodos de revolução dos planetas são proporcionais aos cubos das distâncias médias ao Sol’’.

7.2.1 Caso Particular: Trajetória circular do planeta

Considerando um caso particular, onde a elipse possui excentricidade 1, e a distância do planeta à estrela, em qualquer ponto da trajetória em relação ao astro maior tem valor igual a D . Nesse caso, os valores afelial e perielial possuem medidas equiparativas. Perante as configurações apresentadas, a trajetória do planeta será circular. Segundo Alonso e Finn:

A distância de um planeta ao Sol varia desde um mínimo r_1 no periélio até um máximo r_2 no afélio. Se $r_1 = r_2$, a trajetória é uma circunferência. (ALONSO e FINN, 1972, p.191).

No caso supracitado a força de interação gravitacional (F) entre o planeta e o astro, terá módulo e sentido constante, não importando a posição do elemento menor do sistema. Adotando o valor da massa do menor corpo celeste sendo m , e a massa do maior possuindo

valor M . Se tem a seguinte equação para o módulo da força interativa (f) entre os objetos celestes:

$$f = G.M.m.D^{-2} \quad (29).$$

Perante o modelo esquemático apresentado, se tem uma formatação clássica do movimento circular uniforme, pois o elemento de medida inercial menor realiza seu deslocamento devido a uma força radial constante. A única força existente no sistema é a força gravitacional de módulo f , essa atua como força radial e resultante. O planeta gira em torno da estrela, apresentando uma velocidade constante em valor modular (v), e é vetorialmente tangencial a trajetória circular que o elemento de massa menor realiza. Por isso F é uma força centrípeta, pois modifica o sentido do vetor velocidade; mas não altera o valor da norma. Desse modo se pode escrever a norma de F como:

$$f = m.v^2.D^{-1} \quad (30).$$

A distância entre o planeta e a estrela é o raio da órbita, na situação analisada o astro menos massivo possui trajeto elíptico de excentricidade igual a 1. Diante disso as fórmulas 30 e 29 são iguais, pois a força gravitacional é a força centrípeta. O passo lógico apresentado, se faz chegar a uma expressão matemática que relaciona v (o módulo da velocidade tangencial do planeta) com: a massa da estrela (M), raio orbital (D) e a constante gravitacional (G). Por meio da igualdade entre as expressões 30 e 29, tem-se a equação 31:

$$v^2 = M.G.D^{-1} \quad (31)$$

A equação 31 possui um significado importantíssimo, ela relaciona a norma da velocidade orbital com o posicionamento entre o planeta e a estrela, quanto maior a distância entre corpos com massas M e m , menor será o módulo da velocidade translacional do elemento em movimento.

O valor da norma do vetor velocidade (v) e o tempo orbital (T) do corpo menor, podem ser relacionados com o comprimento da trajetória (C) planetária. O vetor velocidade apresenta uma norma invariável, devido a característica do próprio movimento. Em situações que apresentam o valor normativo da velocidade constante, o intervalo temporal do trajeto (T) é

calculado pela divisão entre o comprimento realizado e o módulo da velocidade. Perante o raciocínio apresentado, o tempo de translação ou período orbital do planeta em relação a estrela é:

$$T = \frac{C}{v} \quad (32)$$

Como o planeta realiza movimento circular uniforme, percorre uma trajetória que possui comprimento (C), sendo esse valor múltiplo de 2π e linearmente dependente do raio da órbita. O raio em questão será o valor D, em que esse representa a distância entre o corpo celeste de menor medida inercial e o elemento de maior inércia. Se pode descrever o termo C, por meio da seguinte equação:

$$C = 2 \cdot \pi \cdot D \quad (33)$$

A expressão número 33 sendo substituída na 32, sistematiza a relação entre: período (T), raio (D), módulo da velocidade (v). Manipulando o resultado, e colocando v isolado no lado esquerdo, chega-se o resultado:

$$v = 2 \cdot \pi \cdot D \cdot T^{-1} \quad (34)$$

Todos os elementos da relação matemática 34, elevados ao quadrado:

$$V^2 = 4 \cdot \pi^2 \cdot D^2 \cdot T^{-2} \quad (35)$$

Note que a equação 35 descreve o valor quadrático do módulo da velocidade, assim como a expressão 31. A equação 35, matematiza o valor de v^2 em variáveis da cinemática do movimento circular uniforme, enquanto a relação 31 mostra o valor de v^2 em função de elementos gravitacionais. É possível igualar 35 a 31, pois o planeta descreve uma circunferência na sua trajetória, apresenta a norma do vetor velocidade constante e possui período orbital em torno da estrela fixa no centro. A equiparação entre (35) e (31) fica na seguinte formatação:

$$M \cdot G \cdot D^{-1} = 4 \cdot \pi^2 \cdot D^2 \cdot T^{-2} \quad (36)$$

A massa da estrela (M), constante gravitacional (G), 4 e π^2 são constantes, logo apresentam valores fixos. Mediante a esta informação, deslocaremos os entes M , G , 4 e π^2 para o lado direito da fórmula 36. Os termos T e D serão deslocados para o lado esquerdo. Com os passos metodológicos descritos, a equação 36 ficará com uma nova roupagem:

$$D^{-1} \cdot D^{-2} \cdot T^2 = M^{-1} \cdot G^{-1} \cdot 4 \cdot \pi^2 \quad (36)$$

Reduzindo a igualdade 36, é possível estabelecer um fator proporcional entre D e T . Os termos M , G , 4 e π^2 são invariáveis, portando o produto entre eles também é um algarismo, será aqui adotado o valor dessa multiplicação por meio do componente numérico x , $M^{-1} \cdot G^{-1} \cdot 4 \cdot \pi^2$ é equivalente a x . No lado esquerdo da expressão algébrica 36, tem o seguinte produto: $D^{-1} \cdot D^{-2} \cdot T^2$; utilizando as propriedades da potência essa multiplicação é reescrita da seguinte maneira: $D^{-3} \cdot T^2$. Agora $D^{-3} \cdot T^2$ é equivalente a x , $D^{-3} \cdot T^2 = x$. Para Nascer uma relação de proporcionalidade entre D e T , basta modificar a equação $D^{-3}T^2 = x$, para:

$$T^2 = x \cdot D^3 \quad (37)$$

A igualdade: $T^2 = x \cdot D^3$, estabelece uma relação proporcional entre o raio e o período orbital, a equivalência 37 possui consonância com a terceira lei de Kepler. Veja que o descrito na equação 37, se tem uma relação homóloga ao exposto na cosmologia kepleriana.

Os estudos de Newton justificam a relação de proporcionalidade entre o raio médio orbital (R) e o tempo translacional do planeta em torno da estrela. Assim a dinâmica Newtoniana justifica a harmonia cosmológica dita por Kepler. Se compreende, portanto, a existência de uma harmonização no funcionamento dos elementos astronômicos tanto em Kepler quanto em Newton, sendo Newton o teórico justificador dessa regularização astronômica através da Gravitação Universal.

7.3 Regularidade astronômica possui raízes conceituais na Escola Pitagórica

A relação entre números e padrões cósmicos, se deu devido ao toque de uma corda presa a duas extremidades fixas em suas pontas, a força inserida pelos dedos em diferentes partes da corda geravam diferentes padrões sonoros. Para Pitágoras e seus apoiadores a correspondência

proporcional entre notas sonoras e o comprimento de fio, possui o seguinte significado: seguimentos do fio tocados em partes específicas (fração específica do comprimento total da corda) geram sons organizados, portanto existe uma relação entre período temporal e os eventos astronômicos, esse concerto pode ser expresso por equações. Então o cosmo apresenta sintonia harmônica, a ser descrita por uma sistematização numérica; o universo para os pitagóricos é uma orquestra entendida através da matemática. Kahn em seu livro *Pitágoras e Pitagóricos*, cita uma máxima de Aristóteles sobre os pitagóricos:

Como relata Aristóteles, os pitagóricos começaram observando as razões numéricas das consonâncias musicais ou harmonia e, ao encontrarem muitos pontos de correspondência entre os números e o mundo, concluíram que ‘‘o céu todo é harmonia e número’’. (KAHN, 2007, p.18).

A regularidade astronômica é ideologicamente presente nos estudos dos pitagóricos desde à Antiguidade Clássica. Ptolomeu no século II d.C, escreve que a teoria harmônica está presente no movimento planetário, bem como o universo apresenta padrões musicais matemáticos. A cosmologia ptolomaica, epistemologicamente se fundamenta na seguinte matriz de pensamento: o universo apresenta movimento periódico e cíclico dos corpos celestes. Ptolomeu estudou e escreveu sobre a harmonia zodiacal e o movimento dos planetas, segundo Kahn:

O próprio trabalho de Ptolomeu, contudo, preserva as características essenciais da teoria harmônica pitagórica...Assim, quatro capítulos do Livro III são dedicados às consequências psicológicas da teoria harmônica, e os últimos nove capítulos demonstram como a teoria se aplica ao zodíaco e aos movimentos planetários’’ (KAHN, 2007, p.194).

O marcante pensamento sobre a descrição do funcionamento universal por meio de equações matemáticas bem definidas é um traço marcante na Escola Pitagórica, sendo esse um recurso utilizado por Ptolomeu para elaborar um modelo sobre a estrutura e ciclos dos astros. Ptolomeu descreveu a seguinte modelagem para o universo:

Tem a terra imóvel no centro, com o Sol, a Lua e os cinco planetas conhecidos fazendo órbitas circulares em volta dela. Para fazer com que as órbitas concordassem com as observações, Ptolomeu acrescentou epiciclos menores para o movimento de cada planeta. (HART- DAVIS et al, O Livro da Ciência, 2016, p. 37).

A procura por padrões numéricos tão presente na Antiguidade Clássica, é retomada durante o renascimento científico entre os séculos XVI e XVII, as ideias presentes no mundo greco-romano antigo ganham força novamente, o cosmos definido por movimentos periódicos descritos pelos pitagóricos influencia os astrônomos Copérnico e Kepler. O majestoso pensamento que todos os entes podem ser compreendidos por números, chega no seu apogeu na revolução científica, os dois astrônomos citados, utilizando da observação dos objetos celestes descrevem o mundo físico, em termos quantitativos e harmoniosos, assim a filosofia pitagórica desemborca no vasto oceano da ciência moderna. Para Kahn:

Portanto, pode-se considerar que Copérnico e Kepler, com suas contribuições fundamentais para ciência moderna e para a visão de mundo moderna, fornecem um final feliz para a história pitagórica. (KAHN, 2007, p.18).

Copérnico durante o século XVI causa uma grande revolução na Europa ao estabelecer uma nova maneira de pensar sobre o universo, o sistema ptolomaico é abalado epistemologicamente, e temos uma nova leitura para o universo. No que foi descrito por Copérnico, a Terra é um planeta e juntos com outros fazem um movimento circular em volta do Sol fixo, onde cada planeta possui uma órbita específica. E a movimentação do Sol na abóboda celeste é causado por conta do translado do próprio planeta em relação a estrela fixa. O Livro da Ciência escrito em 2016, traz as seguintes máximas de Copérnico:

Como se estivesse sentado num trono real, o Sol governa a família de planetas que giram ao seu redor...Já que o Sol permanece estacionário, o que parece um movimento do Sol é decorrente do movimento da Terra. (HART- DAVIS et al, O Livro da Ciência, 2016, p 37).

Johannes Kepler contemporâneo de Copérnico, observa a órbita do planeta Marte, conclui a existência de um erro na descrição geométrica dos movimentos dos astros na astronomia copernicana. Propondo assim que os planetas realizam translação elíptica e o Sol estando em um dos focos da elipse, as elaborações de Johannes sobre a cosmologia não para nisso, a sistematização kepleriana propõe uma relação entre o período orbital e o raio médio dos corpos celestes que transacionam o Sol; outro fundamento importante na dinâmica de um planeta é que ele percorre áreas iguais em intervalos temporais iguais. As considerações ditas acima foram elaboradas entre os anos de 1609-1619, para Hart-Devis et al:

Em sua Nova astronomia, de 1609, ele descreveu duas leis de movimentos planetários. A primeira afirmava que a órbita de todo planeta é elipse. A segunda lei afirmava que uma linha unindo um planeta ao Sol percorre áreas iguais, durante períodos iguais...Uma terceira lei, de 1619, descrevia a relação do ano de um planeta com sua distância ao Sol.” HART- DAVIS et al, O Livro da Ciência, 2016, p. 40).

Johannes não compreendia a causa da translação dos corpos celeste, descreveu essas relações por meio de observações, o motivo foi dado pelo físico Isaac Newton. Na física newtoniana todos os corpos sofrem influência da força gravitacional, e matéria sempre atrai matéria. Isaac mostrou em seus estudos que a relação kepleriana entre raio e o período translacional de um corpo celeste ao redor do Sol, possui correspondência com uma lei natural, a Lei Gravitação Universal. Por meio disso se percebe que o pitagorismo é presente também nas obras de Newton, porque a descrição dos entes naturais por meio dos números faz parte da Escola Pitagórica.

É importante ser dito que o Newton para elucidar bem a teoria da Gravitação estudou as obras keplerianas, mas as teorias de Kepler sozinhas não explicam integralmente toda a cosmologia newtoniana. Temos uma cadeia de constructos teóricos e experimentais para se chegar as máximas universais newtonianas. A matriz teórica newtoniana possui raízes em Pitágoras, Ptolomeu, Copérnico e Kepler. Em ambos os modelos sobre o universo, continua a conceituação que há harmonia e padrões naturais e esses podem ser definidos por números.

CAPÍTULO 8

APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A estrutura cognitiva humana, no ato de aprender, somente elabora conhecimento novo, por meio de conceitos já pré-existentes no mecanismo mental. Então, o melhor processo de ensino-aprendizagem é aquele em que o professor consegue identificar o recurso teórico, já conhecido pelo aprendiz. Tendo fundamento na aparelhagem ideativa que o discente possui, o professor apresentará o cenário epistemológico ainda desconhecido pelo discente. A mediação pedagógica dita acima, fundamenta-se nos estudos de Ausubel, segundo os quais:

Se quiséssemos reduzir a psicologia educacional em um único princípio este seria: -
O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. (AUSUBEL et al, 1980, p.137).

A conciliação entre a gnose previamente presente e a futura elaboração ideativa, no âmbito pedagógico é conhecida como aprendizagem significativa. Pois se está contando com os recursos epistêmicos encontrados na mente do estudante para haver o processo do saber. O aluno só avança em qualquer área científica ou filosófica, caso exista algum ente de conhecimento *a priori* na mente dele, que faça comunicação semântica entre o usual e o desconhecido. No site da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), encontramos a assertiva segundo a qual o aprendizado significativo possui a seguinte característica:

Quando alguém atribui significados a um conhecimento a partir da interação com seus conhecimentos prévios, estabelece a aprendizagem significativa. (BNCC, 2022, Online).

Para se aprender significativamente, também é necessário dinamismo no processo, na medida em que, nesse caso, a necessária compreensão deve ir além de uma dimensão meramente mnemônica, superando, portanto, o ato de decorar ou memorizar mecanicamente o conteúdo. O indivíduo durante seus estudos, irá estruturar e representar o conhecimento inteligivelmente para si. Meramente decorar um processo metodológico, sem a compreensão e representação do estudioso à sua forma operativa mental, não é aprender, mas um ato computacional de absorver um algoritmo. O homem só substancializa um modelo teórico, quando deixa o processo ideativo claro para sua cognição, isso ocorre no momento durante o qual ele cria um vínculo cognitivo ao seu subjetivo padrão, relacionando dois arquétipos

mentais, a saber, por um lado, o já construído em sua mente e, por outro, o saber a ser elaborado. Perceba, que não é um modelo cognitivo anterior qualquer, e sim um correspondente lógico com a ideia que ainda não foi mentalmente elaborada. Moreira em seu artigo, *O que é afinal aprendizagem significativa*, assim escreve:

Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-literal, não ao pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. (MOREIRA,2012, p.2).

Didaticamente falando, para existir aprendizagem significativa, se é que seja necessário existir um ente que a possibilite, ele tem que conter algum recurso teórico habitual que sirva de fundamento para um saber mais elaborado. Ou seja, o recurso pedagógico deve ser potencialmente significativo, pois o objetivo dele é ligar dois arranjos teóricos. O elemento potencialmente significativo, não apresenta formato fixo, podendo ser elaborado em formato de texto; resumo; aula; experimento; imagem ou um fato sócio-histórico. Cabe ao docente, por meio da criatividade, atribuir esse de grande importância para o exercício de seu mister, definir qual será a melhor ferramenta educacional, que funcionará como alavanca cognitiva. Segundo Moreira:

O material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo... Que o material de aprendizagem (livros, aulas, aplicativos, ...) tenha significado lógico (isto é, seja relacionável de maneira não-arbitrária e não-literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante). (MOREIRA, 2012, p.8).

Esse elemento é também dialético, ao mesmo tempo em que ele leva a um saber mais sofisticado, por meio de um conhecimento primeiro; há, assim, uma ampliação intelectual do elemento básico. O material potencialmente significativo, além de criar uma forte rede estruturada de novos pensamentos, ele melhora o conjunto ideativo já estruturado no aparelho mental e psíquico do aprendiz. Valorar o que se sabe, é importante no processo educativo, porque o indivíduo tem ciência da participação que possui na sua formação intelectual, isso humaniza o contexto educativo. Moreira escreve, a propósito:

Mas, ao mesmo tempo, como o processo é interativo, essa ideia inicial vai se modificando, ficando cada vez mais elaborada, mais rica e mais capaz de servir de ancoradouro cognitivo para novas aprendizagens (MOREIRA, 2012, p.14).

Poder-se-ia argumentar, em um sentido mais lato, e não necessariamente apenas no contexto da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) consubstanciada nos trabalhos de Ausubel, Novak, Moreira entre outros, que qualquer aprendizagem *genuína* implica necessariamente em ser dotada da característica precípua de se constituir realmente em uma *aprendizagem significativa*. O adjetivo *genuíno/genuína* adquire aqui o sentido de um conhecimento sólido e consciente para o qual a compreensão se dá em um processo complexo de *produção de significados*. Tal produção de significados se processa numa hermenêutica na qual se procura de antemão dominar os conceitos, bem como as categorias conceituais correspondentes que lhe dão sustentação.

Vejamos um exemplo ilustre.

Nas *Notas Autobiográficas* de Albert Einstein, podemos ler a seguinte passagem:

[...] Contudo, todas as minhas tentativas para adaptar os fundamentos teóricos da física a este [novo tipo de] conhecimento falharam completamente. Era como se subitamente nos faltasse o chão sob os pés. O fato de essa insegurança e contradição nos fundamentos terem sido suficientes para levar Bohr, um homem de instinto acurado e sensibilidade privilegiada, a descobrir as leis principais das linhas espectrais e das camadas esféricas dos átomos e seu significado para a química, pareceu-me então um milagre – e até hoje me parece. É a mais alta forma de musicalidade na esfera do pensamento (EINSTEIN, 1982, p. 49; grifos em negrito foram adicionados).

No excerto precedentemente disposto, Einstein se situa em um contexto histórico no qual a física atravessava uma crise conceitual de monta e que a impressão que dava para si próprio era a de que o chão fugia dos pés, ou seja, que os fundamentos da antiga física já não davam mais respostas adequadas para os resultados que emergiam. Quando Einstein anuncia que *lhe pareceu um milagre – e até hoje lhe parece-* aquele inusitado e iluminado insight de Bohr, ele manifestava a mais pura admiração que, na nossa interpretação, é uma admiração pela tradição pitagórica. Ato contínuo, depois de tecer comentários elogiosos a Bohr pelo seu instinto acurado e sensibilidade privilegiada, conclui Einstein tratar-se *da mais alta forma musicalidade na esfera do pensamento*.

Perguntemos, a propósito:

- Por que uma forma de musicalidade?

- Música de que?

- E por que tanta reverência a ponto de classificá-la como pertencente à *mais alta forma de musicalidade na esfera do pensamento*?

Tudo isso nos convida à produção de significados, numa hermenêutica que nos permite conectar os pensamentos desses três principais protagonistas: Pitágoras, Bohr e Einstein.

Ora, os saltos quânticos de um estado estacionário de energia para outro implicando emissão de luz implicam em uma enumeração de espírito pitagórico por meio de números inteiros. Isso tudo é algo análogo aos sons produzidos pelos instrumentos de corda quando esses se encontram com um dado comprimento com extremidades fixas. Modificando o comprimento e suas extremidades fixas, modificamos as frequências e essas, por sua vez, podem ser enumeradas lançando-se mão das mesmas ideias.

Trata-se de uma música cósmica em que as frequências da natureza se manifestam.

É dessa alta forma de musicalidade que Einstein tanto se encantou a ponto mesmo, segundo a nossa interpretação, de relacionar Bohr a Pitágoras.

Argumentamos que um ensino que procura *produzir significado*, mediante hermenêuticas criativas, tenha enorme possibilidade de despertar a dimensão cognitiva de professores e de estudantes. A interpretação de textos clássicos da literatura científica oferece, sem dúvida, essa potencialidade.

De forma análoga, a exploração de outros expedientes lúdicos e poéticos contribuem muito substancialmente para melhorar e ampliar a compreensão dos professores e estudantes que enveredem por esse caminho.

Aproveitamos também aqui o ensejo para discutir sobre a pertinência ou não de se ensinar o tema do átomo de Bohr nos contextos do ensino médio e dos primeiros anos do ensino superior.

Entre os pesquisadores na área de ensino de ciências, há quem considere que o ensino do átomo de Bohr deveria ser evitado pois nele está contido ideias como trajetórias, velocidades orbitais, entre outras que foram superadas por ocasião da emergência da nova mecânica

quântica e que foram “substituídas” por intensidades, amplitudes de probabilidade, funções de onda etc.

Tais pesquisadores questionam a pertinência de se ensinar algo que “*não serve para nada e que na prática não mais se aplica pois se trata de um assunto que já está nos museus das ideias, em que pese no museu das ideias iluminadas*”. Em uma orientação do gênero, que não concordamos, o professor deveria apenas se ater ao ensino da equação de Schroedinger e esquecer o átomo de Bohr.

Gostaríamos de criticar tal ponto de vista.

Trata-se, a nosso ver, de um ponto de vista pragmático, não histórico, não epistemológico e não educativo. Ora, se o que quisermos é prover *produção de significados* e por conseguinte, uma compreensão que nos leve a uma concepção de mundo, então a orientação pedagógica de esconder um processo de grande potencial de fertilidade não é algo que seja recomendável. Não concordaríamos com uma orientação assim tão pragmática que esconde um processo que quando explorado se revela como de grande potencialidade de despertar muita fertilidade cognitiva.

E é sobre essa fertilidade cognitiva que gostaríamos de tecer algumas considerações.

Ora, os livros de texto muito frequentemente se referem ao fato de que o modelo de Bohr de uma partícula carregada girando em torno de uma órbita circular ou elítica (atenhamo-nos, por simplicidade à órbita circular) está sujeita a uma aceleração centrípeta e por conseguinte, pela teoria eletromagnética clássica, ela emitiria energia e assim colapsaria no núcleo em brevíssimo espaço de tempo e, assim, não explicaria a estabilidade do átomo de hidrogênio tão bem expressa pela estabilidade observada das riscas espectrais. Em outras palavras, a hipótese dos estados estacionários de energia estaria em contradição com a eletrodinâmica clássica. Deste modo, chegamos à conclusão provisória de que os números quânticos surgiriam pagando-se o preço de admitir essa contradição.

No entanto, contradição é coisa muito incômoda!

Mas como superá-la?

Pela teoria clássica (mecânica newtoniana e eletrostática) e sem que venhamos a introduzir nenhuma ideia quântica, obtemos facilmente uma relação entre energia e frequência

percorrendo um espectro contínuo de valores. Por outro lado, pela teoria que introduz a ideia dos estados estacionários encontramos uma relação entre energia e frequência que percorre um espectro discreto de valores.

Como conciliar resultados assim tão díspares?

O Princípio da Correspondência de Bohr oferece a possibilidade de se discutir sobre uma tal conciliação. Ora, no domínio de números quânticos pequenos, as transições entre níveis discretos desempenham papel. No limite de números quânticos grandes, ou seja, no domínio no qual $n \gg 1$, então as transições se dão em um quase contínuo.

Os cálculos permitem um resultado estupendo!

Tal resultado, sem dúvida estupendo, constitui-se na explicitação da constante de Rydberg, em termos de quantidades basilares da física atômica, quais sejam, a carga do elétron, a massa do elétron e a constante de Planck, essa última gozando de estatuto de universalidade em toda a física quântica.

Antes, sem o recurso da discussão teórica baseada no Princípio da Correspondência, a constante de Rydberg era apenas uma constante empírica. Com a discussão acerca do Princípio da Correspondência, a constante de Rydberg passa a ser concebida em termos de quantidades basilares de uma grande teoria.

Logo, asseveramos com todas as letras, que ao explorar as suas potencialidades, o ensino do átomo de Bohr é muito pertinente e educativo.

Há outras razões adicionais que embasam os nossos argumentos.

Sabemos, de maneira geral, que o teor de um dado Princípio de Correspondência é o de explicitar um conhecimento antigo e bem corroborado como um caso particular de um conhecimento novo que é mais geral. O conhecimento antigo, deste modo, se constitui em um caso particular do conhecimento novo em um dado limite de validade.

Em conformidade com o que afirmamos, a teoria do átomo de Bohr (conhecimento novo) redundando na teoria clássica (conhecimento antigo) no caso limite para o qual as transições estão relacionadas a números quânticos muito grandes, mas próximos entre si.

Uma tal discussão permite que exploremos o importante problema da comensurabilidade ou não entre as teorias.

De fato, muitos outros argumentos poderiam ser aduzidos para justificar a pertinência do ensino do átomo de Bohr além dos que fizemos alusão aqui.

Muitas questões podem ser trazidas à baila para análise de qual ensino proveja mais potencialidade de aprendizado e de criatividade.

Dentre muitas dessas questões que podem ser formuladas e pesquisadas, uma delas nos parece muito importante para o ensino de ciências, em geral, e em especial para o ensino de física, diz respeito ao que se deve escolher como objeto de ensino.

Inspirando-nos em espetacular livro recente de Nuccio Ordine (ORDINE, 2016), diríamos que um ensino de qualquer assunto não deve se pautar pelas necessidades de mercado e de lucro tal como o pregado pela economia neoliberal. Quando Ordine argumenta tão brilhante e pertinentemente sobre *A Utilidade do Inútil* poderíamos inclusive perguntar aproveitando também um conhecido jargão:

Inútil para quem?

E concluindo o presente capítulo, convidemos Manuel Barros para conversar conosco.

Tudo aquilo que nos leva a coisa nenhuma
e que você não pode vender no mercado
como, por exemplo, o coração verde
dos pássaros,
serve para poesia (BARROS, 2019, p.18).

Ora, caríssimas e caríssimos! O átomo de Bohr, talvez não sirva para nada para as mentes que querem obter novos resultados a qualquer custo, mas, tal como os corações verdes dos pássaros que não tem valor de mercado, o átomo de Bohr serve para a poesia, para a filosofia, além de servir para as mentes que desejam pensar de maneira autônoma e livre.

CAPÍTULO 9

USO DO POEMA COMO ELEMENTO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO

O ser humano está inserido num contexto social e para haver comunicação, representação de pensamentos e registro de informações, utilizamos a linguagem verbal. A linguagem verbal é um recurso potencialmente significativo, pois por meio dela é possível criar associações entre o componente teórico que está sendo compreendido, com o campo vocabular possuído. Um ponto importante a se notar, é o domínio literal que o indivíduo tem em relação ao seu idioma; percebe, que a utilização da verbalização só atua como fator para compreensão significativa, se o indivíduo relacionar o novo conhecimento com os elementos vocabulares estabelecidos na sua cognição. De acordo com Moreira:

O homem vive na linguagem. Portanto, a linguagem é essencial na facilitação da aprendizagem significativa. As palavras são signos linguísticos e delas dependemos para ensinar qualquer corpo organizado de conhecimentos em situação formal de ensino que é a proposta subjacente à teoria da aprendizagem significativa (MOREIRA, 2012, pg.22).

Uma forma de representar a linguagem verbal é o poema, sendo um tipo de texto bastante conhecido. Possuindo vasta utilização na história, é a tipologia textual mais comumente conhecida, pois apresenta a sua metrificacão materializada nas manifestações artísticas, culturais e mitológicas produzidas pelo homem. Em qualquer cultura ou período histórico, o texto poético foi útil para expressar e revelar as estruturas cognitivas do ser humano. Carvalho e Alvim, interpretam os estudos de Paz, sobre a importância dos textos poéticos na sociedade, como essa tipologia textual é a que mais representa a trajetória da humanidade ao longo das eras; de acordo com as escritoras:

A poesia é pertencente a todas as épocas, pois é a forma natural do ser humano se expressar. Ainda de acordo com o mesmo autor, existem povos sem prosa, mas não sem poesia, portanto, a prosa não é uma expressão intrínseca à sociedade, ao contrário da poesia que se materializa em canções, mitos ou outras expressões poéticas desde as mais remotas épocas. A poesia é, desta feita, fundamental à sociedade, parte do que fomos e daquilo que somos, e por meio de sua leitura podemos nos perceber uns aos outros em nossa humanidade (CARVALHO e ALVIM, 2021, p.15).

A ferramenta da linguagem verbal, especificamente os textos poéticos, são uteis como mecanismo de ação para aprendizagem significativa, pois a linguagem verbal é um importante elemento para a compreensão dos conceitos, e principalmente para se fazer pontes lógicas e epistemológicas entre os saberes. Representar modelos mentais pela escrita é necessário, já que com ela se consegue expressar de maneira simbólica um elemento intelectual. Independente de qual seja o campo de conhecimento, representar verbalmente algo, se esse algo é potencialmente significativo. De acordo com Moreira:

A aprendizagem significativa depende da captação de significados que envolve um intercâmbio, uma negociação, de significados, que depende essencialmente da linguagem significativa (MOREIRA, 2012, p.22).

O texto poético é um bom representante da linguagem verbal, como utensílio potencialmente significativo, devido a sua formatação textual, pois ela é muito simples, organizacionalmente configura-se em versos e estrofes. O verso é uma frase, e a estrofe o conjunto de versos, usualmente falando, o texto é verticalizado em sua escrita. Não é necessário ter rimas ou musicalidade, nem uma estrutura complexa de elementos vocabulários, esses traços dependem da época ou pessoa que elaborou o texto. O objetivo aqui não é colocar definições métricas complexas para os textos poéticos, pois os preciosismos estilísticos e gramaticais, afastam o homem dessa formatação verbal. Para que essa estrutura textual seja potencialmente significativa, ela deve ser de comum compreensão e representação para os escritores e leitores. O estilo e a composição do excerto, são propriedades do poeta, pois liberdade na escrita é uma forma de colocar significado e sentido nos componentes ideativos, expressados por meio das palavras. A livre configuração e construção dos excertos poéticos, e a liberdade de expor os componentes mentais, através de poemas, possui defesa literária de Del Picchia, de acordo com literário:

Queremos libertar a poesia do presídio canoro das fórmulas acadêmicas, dar elasticidade e amplitude aos processos técnicos, para que a ideia se transubstancie, sintética e livre na carne fresca do Verbo, sem deitá-la, antes, no leito de Procusto dos tratados de versificação. Queremos exprimir nossa mais livre espontaneidade, dentro da mais espontânea liberdade. Ser, como somos, sinceros, sem artificialismos, sem contorcionismos, sem escolas. Sonorizar no ritmo original e profundo tudo o que reboe nas nossas almas de sino, carrilhonando as aleluias das nossas íntimas páscoas, dobrando a angústia de nossos lutos (DEL PICCHIA, 1983, p.332).

CAPÍTULO 10

HISTÓRIA E FILOSOFIA COMO ELEMENTOS POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVOS PARA O ENSINO DE FÍSICA

A História e Filosofia estão presentes na elaboração do conhecimento humano, ambas tentam elucidar as raízes e fundamentos teóricos dos fatos sociais, que se propagam ao longo do tempo. Não tem como compreender qualquer elemento intelectual produzido pelo *espírito humano*, sem a existência da relação dual entre o elemento teórico estudado e a sua relação com os fatores históricos. O que foi dito acima, possui consonância com o pensamento hegeliano; essa linha filosófica defende a impossibilidade separativa entre elaboração intelectual e o contexto histórico no momento na qual foi produzida. Gaarder, no livro *Mundo de Sofia*, fala a seguinte máxima hegeliana:

Você também não pode de jeito nenhum separar um filósofo, ou qualquer pensamento, falando em linhas gerais, do contexto histórico desse filósofo ou desse pensamento...Isso quer dizer que o conhecimento está em constante movimento adiante e acompanha o progresso humano. (GAARDER, 2012, p.393).

A relação entre as Ciências Físicas e a erudição humana é indissociável. Por meio da compreensão das leis naturais, há também a representação de modelos que foram replicados em ferramentas tecnológicas. A necessidade de entender o funcionamento do universo, quanto à criação de elementos técnicos, modificaram a relação que o homem possui com o natural. Existe uma relação fenomenológica, entre a Física e os acontecimentos antropológicos. A dependência entre os dois campos é bijetora, a elaboração sobre o funcionamento cosmológico, influencia na forma como homem pensa, assim como a estrutura cognitiva do ser humano, acarreta a forma como ele percebe o mundo físico. Bohr, descreve muito bem a dependência entre os fatores sociais e o conhecimento naturalístico; em seu artigo, *Filosofia natural e culturas humanas*, ele escreve:

As ciências físicas, na verdade, são parte integrante de nossa civilização, não apenas pelo fato de nosso domínio cada vez maior das forças da natureza haver modificado tão completamente as condições materiais da vida, mas também porque o estudo dessas ciências contribuiu muito para esclarecer os antecedentes de nossa própria existência. (BOHR, 1995, p.29).

Considerando a existência bijetora entre os elementos antropológicos, e as ciências físicas, então concebemos que podemos ensinar física, utilizando-nos da história e da filosofia, como elementos potencialmente significados, já que, o que acontece com o ser humano, resplandece no entendimento sobre a estrutura do universo. Apresentar ao aluno as raízes filosóficas e históricas, das teorias fisicalistas, o faz entender de onde surgem as leis físicas, e como as interpretações delas fazem os costumes e hábitos humanos modificarem.

Note que explicar um termo, por meio de outro é um componente essencial no ato da aprendizagem significativa. Pode-se aprender algo significativamente, também mostrando uma ideia, situação social e constructo mental, desde que o aprendiz tenha em mente ou seja mostrado para ele, o elemento filosófico e histórico correspondente à teoria científica a ser apresentada. Sobre essa relação, Moreira diz:

Nessa linha, subsunçores podem ser proposições, modelos mentais, construtos pessoais, concepções, ideias, invariantes operatórios, representações sociais e, é claro, conceitos, já existentes na estrutura cognitiva de quem aprende (MOREIRA, 2012, p.10).

Aproveitando o gancho precedentemente disposto oferecido pelo excerto de Moreira para o qual há, de fato, um espectro amplo de possibilidades em que podemos conceber o que seja um subsunçor (modelos mentais, construtos pessoais, ideias, invariantes operatórios, representações sociais, conceitos pré-existentes etc.) é que podemos conectar a TAS com outras possibilidades de compreensão acerca da produção de significados, como, por exemplo, as reconstruções racionais de episódios emblemáticos da história da ciência segundo um viés epistemológico entre várias outras possibilidades.

Quando Copérnico no seu *Revolutionibus* opta pelo sistema heliocêntrico e, conseqüentemente, opta por algo em detrimento do sistema geocêntrico, ele o faz, por mais estranho e contraditório que isso possa parecer, incorporando na sua estrutura mental a *recusa aristotélica do infinito*.

Ora, o raciocínio hoje em dia nos parece trivial na terceira década do século XXI, mas em pleno século XVI (1543) nada tinha de trivial.

Ora, a questão colocada é como explicar que, ao longo de 24 horas, se dê a alternância entre noite e dia. Ambos os sistemas – geocêntrico e heliocêntrico- oferecem explicações. No entanto, a explicação geocêntrica exige que o sol, que está muitíssimo longe de nós

(150.000.000 quilômetros), faça uma volta completa em torno de uma ínfima poeirinha que é a Terra implicaria numa velocidade $V = (2 \pi 150.000.000/24)$ (quilômetros/hora) e isso redundaria em algo que era ‘*infinito*’ para quaisquer propósitos práticos. Então, é muito mais razoável fazer uma ínfima poeirinha rodar em torno de seu próprio eixo ao longo de 24 h.

Tudo isso está argumentado no seguinte excerto (ver COPÉRNICO 1984, p.39-40, originalmente publicado em 1543:

Mas porque não se levanta a mesma questão ainda com mais intensidade acerca do Universo cujo movimento tem que ser tanto mais rápido quanto o Céu é maior do que a Terra? Ou tornou-se o Céu imenso porque foi desviado do centro por um movimento de força indescritível e acabará por se precipitar também, se parar? Certamente, se esse raciocínio fosse razoável também a grandeza do Céu subiria até o infinito. Com efeito, quanto mais alto ele for levado pela força de seu movimento, tanto mais rápido esse movimento será devido ao aumento contínuo da circunferência que ele tem que percorrer no período de 24 horas. Por outro lado, crescendo o movimento cresceria também a imensidade do Céu. Assim a velocidade aumentaria o movimento e o movimento aumentaria a velocidade até o infinito. **Mas, segundo aquele axioma da Física -o infinito não pode ser percorrido nem movido de forma alguma- o Céu terá necessariamente que permanecer imóvel** (COPÉRNICO, 1984, Livro I, Cap. VIII, p. 39-40 [originalmente publicado em latim em 1543]; grifos em negrito acrescentados).

Evidentemente a Física a qual Copérnico se refere em 1543 é a Física de Aristóteles.

Questões psicológicas e de intuição imediata podem ser aduzidas, pois o que se vê é o sol se mover, tanto é que na linguagem coloquial a gente fala do sol nascer, do sol ir se elevando no céu e do sol se pondo.

Como superar esse obstáculo epistemológico à la Bachelard constituído pela experiência primeira e substituí-lo pela experiência pensada e refletida?

Ora, trata-se, como sabemos, de um *movimento meramente aparente* e hoje o sabemos perfeitamente.

Isso despertou enorme admiração de Galileu por Aristarco de Samos e por Copérnico e o excerto famoso de Galileu que exibiremos logo a seguir é uma expressão da escolha

epistemológica pela **primazia da razão** em detrimento de um empirismo baseado nos sentidos, principalmente, hoje o sabemos, se for um empirismo meramente sensualista.

Galileu assim se expressou (ver GALILEU, 2004, p. 413, originalmente publicado em 1632):

(...) não posso encontrar limite para a minha admiração de como tenha podido, em Aristarco e em Copérnico, a razão fazer tanta violência aos sentidos, que contra estes ela se tenha tornado soberana de sua credulidade (GALILEI, 2004, p. 413 [originalmente publicado em 1632]).

É importante enfatizar que o fato de Galileu ter dado *primazia à razão*, tal como faz-se absolutamente claro de seu excerto no qual ele revela grande admiração por Aristarco de Samos e por Copérnico, não significa, que ele não desse importância aos sentidos. Os sentidos são importantes, mas teriam que ser controlados pela razão e isso se revela com todas as letras pelo seu método recorrentemente aludido que constitui numa combinação crítica entre *experiências sensíveis e demonstrações necessárias*.

Nesse sentido, também Galileu se revela como um Pitagórico principalmente se trouxermos à baila a sua famosa citação presente no seu livro *O Ensaíador* no qual há a referência ao Grande Livro da Natureza escrito em símbolos matemáticos.

Seja, pois, a citação famosa:

A filosofia encontra-se escrita neste grande livro que continuamente se abre perante nossos olhos (isto é, o universo), que não se pode compreender antes de entender a língua e conhecer os caracteres com os quais está escrito. Ele está escrito em língua matemática, os caracteres são triângulos, circunferências e outras figuras geométricas, sem cujos meios é impossível entender humanamente as palavras; sem eles nós vagamos perdidos dentro de um obscuro labirinto (GALILEU, 1987, p. 21)

Podemos concluir que a partir de uma concepção ampliada do que possa se constituir em um subsunçor, tal como Moreira sugere, também podemos abrir um amplo leque de *produção de significados* e interpretar feitos históricos seminais e emblemáticos à luz de uma *reconstrução racional com forte viés epistemológico* e discutir com profundidade acerca do que pode se constituir um *construtivismo filosófico*. Neste viés podemos citar o trabalho de Santos Silva e Bastos Filho (2021) que tratou de aspectos relevantes dos pensamentos de Copérnico,

Galileu, Bachelard, Kant, Einstein e Popper que foram articulados em uma primeira instância e após, em uma segunda instância, procedeu-se de uma maneira complementar com aspectos dos pensamentos de Piaget, Chomsky e Vygotsky. Para uma ampliação substancial de alguns argumentos delineados aqui, remetemos o leitor para o artigo correspondente (SANTOS SILVA; BASTOS FILHO, 2021, p. 76-97).

CAPÍTULO 11

PRODUTO EDUCACIONAL

11.1 Nome do produto

O produto educacional criado através dos termos teóricos discutidos aqui na Dissertação, foi um livreto com 15 poemas; o opúsculo elaborado apresenta o seguinte título: *“Breves poemas: A Influência da Escola Pitagórica nas Ciências Físicas”*.

11.2 Objetivo do produto

Mostrar a influência da escola pitagórica nas ciências físicas, por meio de 15 textos poéticos.

11.3 Teoria educacional utilizada

A teoria da aprendizagem significativa serviu de fonte pedagógica para a elaboração do material (veja o capítulo 8). Os elementos que serviram como recursos teóricos ligantes ideativos à Física foram os seguintes: (1) a estrutura estilística dos textos poéticos de versos livres, (2) a contribuição da escola pitagórica nas ciências físicas.

11.3.1 Por que utilizar textos poéticos de versos livres no produto educacional?

O texto poético livre apresenta a licença de significar e expor os elementos ideativos em forma de linguagem escrita, pois não há assunto que não possa se tornar poético. O principal objetivo do poema em versos livres é: tornar significativo o pensamento do escritor, e transpor os elementos cognitivos em elementos simbólicos.

Os poemas em versos livres dão a liberdade de expressar teorias físicas e filosóficas, já que existe a possibilidade literária de versificar ao modo do escritor, os entes não tocáveis em signos linguísticos. Observe o trecho abaixo de Manuel Barros, parte de um poema em versos livres, nele se apresenta a estrutura métrica não padronizada, no texto se defende que todas as coisas não sensíveis podem ser transformadas em poesia; segundo Barros:

Tudo aquilo que nos leva a coisa nenhuma
e que você não pode vender no mercado
como, por exemplo, o coração verde
dos pássaros,
serve para poesia (BARROS, 2019, p.18).

11.3.2 Por que utilizar o influxo da escola pitagórica nas ciências físicas no produto educacional?

O pensamento pitagórico é um grande marco na história, pois suas contribuições filosóficas dão fundamentos teóricos para a ciência que hoje conhecemos.

A quantificação não é mais um sonho pitagórico, e sim uma realidade diária, pois numerificamos todos os aspectos da existência, seja em dados sociológicos sobre a condição do desenvolvimento humano de uma determinada região, ao número de micronutrientes necessários para viver bem em termos biológicos.

É potencialmente significativo compreender os fundamentos da raiz teórica que defende “encontrar a verdade por meio dos números”, porque se entende os caminhos que traçamos ao longo da história e as teorias que elaboramos tendo como fundamento a matriz pitagórica.

Foi aqui na Dissertação discutido, a contribuição de Pitágoras para elaborar as noções de física atômica e do orbital eletrônico, a proporcionalidade como ente indispensável para replicação de uma reação química e a harmonia cosmológica newtoniana.

Note a suma importância da filosofia pitagórica como recurso potencialmente significativo, pois com base nela temos a compreensão sobre quais são os termos importantes, para que sejam compreendidos: o mundo atômico (veja o capítulo 5); o universo molecular; as relações formativas de uma substância química (capítulo 6); e o macrocosmos com suas leis periódicas (capítulo 7). Com isso se verifica que o pensamento pitagórico, tendo seu florescer na Idade Antiga, se encontra presente no tempo contemporâneo. Então compreender o passado é potencialmente significativo para entender o hoje (capítulo 10).

11.4 Estrutura do produto

O material elaborado é um livreto que possui 21 páginas, ele é constituído na seguinte configuração: 1 página para capa, 1 lauda para o sumário, 15 poemas e as referências bibliográficas.

Na capa se contém o título da obra, o nome do escritor e uma imagem de fundo. O sumário apresenta o nome dos poemas que estão no pequeno livro. Os 15 poemas apresentam títulos, eles estão escritos no sumário de maneira verticalizada e ordenada, apontados em letras maiúsculas, formato Arial, tamanho 12, grafados em negrito (veja o apêndice).

Os poemas apresentam os seguintes nomes: (1) Objetivo do texto; (2) Os físicos são os primeiros; (3) O pai da civilização; (4) A pitagorização científica, Popper anuncia; (5) Até você, Hawking!; (6) Bunge, o ressaltador de Pitágoras; (7) Harmônicos da onda mecânica; (8) Quem é o pai?; (9) A Trindade kepleriano-pitagórica; (10) Há música no céu!; (11) A universal equação newtoniana; (12) Newton mais um padronizador dos astros; (13) A elétrica quantização pitagórica; (14) O milagre proporcional de uma química equação; (15) O modelo atômico pitagórico de Bohr.

11.5 Componente teórico de cada poema

Seguirá uma breve amostragem sobre os componentes teóricos contidos em cada poema. Veja nos próximos parágrafos.

Poema 1: *Objetivo do texto*. Nele se descreve o intuito do livreto, que é descrever poeticamente a filosofia pitagórica, bem como a grande contribuição do pensamento pitagórico para as ciências físicas.

Poema 2: *Os físicos são os primeiros*. Mostra a raiz teórica da Física, e a primeira preocupação com o que é natural, relatando que a matriz epistemológica das ciências naturais nasce na filosofia pré-socrática.

Poema 3: *O pai da civilização*. Expressa-se aqui a suma máxima “ tudo é número “, e a busca de Pitágoras por padrões numéricos que explicassem o funcionamento cosmológico; também aqui se mostra a busca pela beleza harmônica e geométrica tão bem expressada pelos pitagóricos.

Poema 4: *A pitagorização científica, Popper anuncia*. O texto elabora uma relação teórica, entre pensamento matematizante pitagórico e a defesa popperiana sobre impossibilidade de fazer ciência sem matemática.

Poema 5: *Até você, Hawking!*. Decorre do pensamento de Hawking, sobre a modelagem matemática para construção de uma teoria científica, e como isso dialoga com a escola pitagórica.

Poema 6: **Bunge, o ressaltador de Pitágoras**. Apresenta a tese de Mario Bunge que a Física Quântica nasceu na Antiguidade, com a quantização dos entes físicos por meio dos números naturais.

Poema 7: **Harmônicos da onda mecânica**. Cita-se o estudo dos pensadores como D'Alembert e Fourier, sobre o movimento periódico das ondas mecânicas e a quantização do valor numérico dos harmônicos, e como isso se relaciona com a musicalidade pitagórica.

Poema 8: *Quem é o pai?* Nele é versificado a quantização energética explicada por Max Planck. Fala-se também do pensamento bungeriano, onde esse diz que o pai da teoria quântica é Pitágoras.

Poema 9: *A Trindade kepleriano-pitagórica*. São discutidas e mostradas a geometrização e a algebrização dos movimentos planetários nos estudos keplerianos; no excerto também relacionamos o pensamento kepleriano com o pitagórico.

Poema 10: *Há música no céu!* É poetizado à lei kepleriana periódica da órbita planetária, e como essa expressão científica contribui para elucidação harmônica cosmológica.

Poema 11: *A universal equação newtoniana*. Versifica-se à Lei da gravitação universal de Newton, e as conclusões que a física newtoniana trouxe para ciência moderna, a proposição de criar uma equação matemática que explica um fator universal.

Poema 12: **Newton mais um padronizador dos astros**. No poema é explicada a interpretação newtoniana da Terceira Lei de Kepler, e como os estudos de Newton foram influenciados pela ideia do cosmo harmônico.

Poema 13: **A elétrica quantização pitagórica.** Apresenta o elemento unitário da eletricidade, e a quantização da carga elétrica explicada por Millikan, conciliando a teoria da quantização da carga elétrica à luz da filosofia pitagórica.

Poema 14: **O milagre proporcional de uma química equação.** Discorre sobre o padrão matemático que há numa equação química, mostrando a relação teórica entre a química e o padrão numérico pitagórico.

Poema 15: **O modelo atômico pitagórico de Bohr.** Relaciona-se à formatação do átomo de hidrogênio no modelo atômico de Bohr, com o pensamento sobre o mundo não contínuo.

11.6 Aplicação e resultados obtidos durante o emprego do produto educacional.

11.6.1 Conversa realizada

O produto foi aplicado no dia 5/07/2022, no Colégio Nunila Machado, a instituição é da rede privada de ensino, sendo localizada em São Miguel dos Campos-Alagoas. A turma escolhida para se realizar à aplicação do produto, estava na terceira série do ensino médio, a turma continha 20 alunos.

Anteriormente a data de aplicação no dia 4/07/2022, o aplicador do produto educacional teve uma conversa com os alunos da turma sobre o material que iria apresentá-los, durante o diálogo foi captada a informação que eles sabiam da estrutura de um texto poético livre.

Relataram também o conhecimento da filosofia pré-socrática, e a busca dos antigos filósofos para a entidade que formava o universo. Outro ponto notável é que a maioria dos integrantes da turma sabiam sobre a filosofia pitagórica, principalmente na busca do pensador Pitágoras por leis numéricas explicativas da realidade.

O fato deles saberem sobre a estrutura geral de textos poéticos, e do conhecimento das máximas pitagóricas, ajudou bastante para aplicação do material educacional. Pois o livreto realmente serviu como produto potencialmente significativo.

11.6.2 Aplicação

O produto foi trabalhado em sala no dia 05/07/2022, o livreto foi aplicado de maneira declamatória, onde professor elaborador do texto (Aleff Kennety Henrique dos Santos) e os alunos recitaram os poemas do livreto.

A aplicação aconteceu em forma de sarau; o professor declamou os três primeiros poemas, os outros foram recitados pelos 20 alunos. Os poemas 4, 5, 6 e 7 foram declamados cada um, por um aluno. Os textos 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 foram recitados em dupla, houve um par diferente para recitar cada um dos textos; nos pares formados não houve repetição de integrantes, nem foram estruturadas duplas com alunos que realizaram a leitura dos textos 4, 5, 6 e 7. A disposição organizacional dita acima, foi necessária para que todos os alunos participassem do momento pedagógico.

Depois do sarau realizado, o professor aplicador do material (Aleff Kennety Henrique dos Santos) fomentou um debate sobre os conteúdos dos textos poéticos, bem como a influência da filosofia pitagórica nas ciências físicas.

Em sequência ao debate foi solicitado que os discentes produzissem um pequeno texto poético em estilo livre (a produção dos alunos se encontra na seção 11.6.3), sobre o poema declamado por cada um deles, e pelo que foi elaborado intelectivamente durante o certame.

Cabe aqui tecer algumas considerações para o livreto, *Breves poemas: A Influência da Escola Pitagórica nas Ciências Físicas*: não precisa de recursos sofisticados para aplicação, mas anteriormente é necessário saber se os discentes sabem da estilística de um texto poético, e se sabem do pensamento pitagórico.

11.6.3 Resultados da aplicação

Os alunos gostaram do material, bem como a forma pela qual foram apresentados os elementos filosóficos e os componentes teóricos das ciências naturais. Eles disseram que não sabiam da conciliação entre a física e a Escola Pitagórica, apesar de saberem das teorias pitagóricas; a conciliação apresentada nos poemas foi uma novidade conceitual, segundo eles.

Serão mostradas adiante (próximos parágrafos), as impressões tidas pelos discentes durante a aplicação do produto educacional, sendo então as discussões teóricas produzidas por eles em versos livres, sobre os conteúdos epistemológicos e científicos contidos nos poemas do

livreto (*Breves poemas: A Influência da Escola Pitagórica nas Ciências Físicas*). As considerações literárias em forma de poema, vistas a seguir, foram produzidas pelos estudantes, mediante os poemas lidos do livreto, e seguindo a metodologia de aplicação do produto educacional (seção 11.6.2).

É importante frisar que as impressões poéticas colocadas na seção 11.6.3 da presente Dissertação são produções literárias dos alunos, e contem no total 12 poemas em estilo livre; os poemas foram escritos com base na seguinte distribuição : leitor do poema 4 produziu o verso 1; leitor do poema 5 produziu o verso 2; leitor do poema 6 produziu o verso 3; leitores do poema 7 produziram o verso 4 ; leitores do poema 8 produziram o verso 5; leitores do poema 9 produziram o verso 6; assim por diante até completar os leitores de todos os poemas do livreto, seguindo de acordo com a metodologia de leitura dita na seção 11.6.2.

Acompanhe a seguir os poemas escritos pelos alunos:

Verso 1

*O pensamento de Popper sobre a eficácia da matemática
para construção de uma ciência segura,
é condizente com a atualidade,
principalmente numa época capitalista em que tudo é contabilizado,
a quantidade é o ditame do modo de vida moderno.
A matemática se encontra presente em um simples ato de passar o troco,
até a produção de um programa de computador.
Quando vejo que Popper,
defende uma ideia antiga,
penso que as teorias estão ligadas,
desde a mais antiga até a mais atual,
nada escapa do antigo por mais novo que seja.
Pitágoras vive em nosso mundo de hoje, por meio de Popper.
Os números são importantes para entender o mundo,
esse pensamento de Pitágoras foi bem defendido por Popper.*

Verso 2

*Muito se tem dito que a filosofia não serve mais para nada,
mas esquecem a tamanha contribuição racional embutida
em nossa época por meio dos grandes filósofos.
Pitágoras por exemplo, produziu um rico pensamento filosófico,
ditando os números como termo guia racional.
O Stephen Hawking um famoso físico de nossa era,
é movido pela filosofia pitagórica,*

*porque defende as equações como entidade fundamental para se chegar à ciência.
A filosofia é muito usada,
hoje muito mais que antigamente,
isso é muito claro pra mim.*

Verso 3

*A ideia é bem interessante,
a ideia da física quântica já sendo falada no mundo grego,
esse povo da Grécia Antiga era bem avançado.
Quando se falava em quântica,
sempre pensei em algo moderno e novo,
nunca pensei que Pitágoras tivesse contribuído para um ramo da física tão novo.
Tudo agora considerado novo, parece que foi dito por algum grego.*

Verso 4

*Parece que tudo é musical,
não sei se entendi bem,
parece que tudo é música,
e toda realidade física é descrita em matemática.*

Verso 5

*Já sabíamos pelo que estudamos em física e em química,
que a irradiação emitida por um corpo depende de um fator de número inteiro,
lembramos que isso ocorre devido à natureza corpuscular da luz.
Max Planck nos seus estudos sobre a irradiação do corpo negro
elaborou também isso,
na visualização da emissão da energia.
Foi mostrado uma coisa interessante,
a relação da filosofia de Pitágoras com a teoria da energia se propagar em pacotes inteiros.
Pitágoras é um dos grandes,
nessa história toda,
o cara estava muito além do seu tempo,
como pode se colocar uma coisa tão avançada, num tempo tão antigo.*

Verso 6

*As leis de Kepler são uma forma de deixar o movimento dos planetas mais compreensível,
a compreensão delas ocorrem de maneira geométrica e matemática.
Pelo que foi dito, e no compreendido no contexto em geral,
Kepler observa o mundo com o mesmo olhar musical de Pitágoras.*

Verso 7

*Quando vimos as músicas celestes,
pensamos sobre criaturas sobrenaturais e divinas,
mas com a leitura dos números,
percebemos o assunto.
A repetição periódica existente no movimento de translação de um planeta ao redor do Sol,
é a pura ÁLGEBRA;*

Verso 8

*Para gente a equação de Newton tem um sentido duplo.
A equação de Newton é universal,
por ela explicar atração de todos os corpos existentes,
e por ela falar que existe algo em todos os lugares.
Pensamos ter um pouco de religião na equação,
apesar de se tá falando de física, o tempo todo.*

Verso 9

*Oh, professor!
Fez um poema da fórmula de Newton,
aquela da força gravitacional,
mostrou passo a passo,
como ocorre a força entre um planeta e o sol,
ele considerou o planeta realizando um movimento em circular do planeta.
Escrever uma fórmula num poema nunca vimos.*

Verso 10

*A gente viu isso no primeiro ano do Ensino Médio,
a equação química,
agora a gente não sabia da relação entre o balanceamento da estequiometria,
com o filósofo Pitágoras,
faz sentido depois,
tudo é matemática,
não tem como escapar,
gostando ou odiando a matemática tá em tudo.*

Verso 11

*Falar sobre a carga elétrica de um corpo,
e como ela está relacionado a perda ou ganho de elétron.
Não tem como ganhar ou perder, metade de um elétron,
só um, dois....
Não tem decimal no ganho ou na perda de elétron.
Acredito que deu para entender a unidade de Pitágoras na elétrica.*

Verso 12

*Interessante o modelo de Bohr analisado na filosofia,
é novo para nós essa elucidação entre o físico Bohr e Pitágoras,
a Física e a Filosofia são muito próximas, muito bom verificar isso.
Física, Música e filosofia que junção mais correspondente.*

11.6.4 Considerações sobre a utilização do produto educacional

O material didático mostrou-se potencialmente significativo, mediante as discussões dos alunos mostradas nos textos poéticos produzidos por eles. Nos versos poéticos elaborados pelos estudantes, verificou-se a compreensão da filosofia pitagórica, bem como a sua matriz de fundamentação na ciência física, na profunda ideia segundo a qual ‘‘o número é a essência da realidade’’.

Os poemas produzidos pelos estudantes, mostrou-se como ente verificador da eficácia do material didático como potencialmente significativo, pois os discentes conseguiram realizar conexões mentais entre as teorias physicalistas e o pensamento pitagórico. Veja os versos construídos pelos alunos na seção 11.6.3, e perceba a existência de poemas que discutem a contribuição epistêmica da Escola Pitagórica na matematização dos componentes macrocósmicos, moleculares e atômicos.

Outro ponto de análise é a linguagem usada para escrita dos textos poéticos, o vocabulário utilizado por cada aprendiz é o próprio, não apresenta nenhum léxico complexo ou recursos vocabulares elevados. Portanto, pode-se afirmar a verificação da aprendizagem significativa, pois o estudante elaborou por meio de sua forma linguística, o significado das ideias do Programa Pitagórico inserido nas Ciências Físicas,

CAPÍTULO 12

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A matriz epistemológica da escola pitagórica remonta à Antiguidade Clássica; mesmo assim se encontra presente na ciência hodierna. Vários pensadores citados nesse texto falam sobre a importância dessa filosofia na formação e construção do pensamento ocidental. Se vê isso no enaltecimento da quantidade (dados numéricos) em detrimento da qualidade (feio, belo, seco, húmido).

Um pensamento bastante recorrente de lavra pitagórica no contexto científico é a ideia de quantização, estando ele presente nos estudos sobre ondas mecânicas e determinação de sua frequência pelos harmônicos (modos normais de vibração), quantização da carga elétrica, irradiação através de pacotes mínimos de energia.

Encontra-se presente no modelo atômico de Bohr em 1913, sendo que essa e outras ideias subjacentes, estão em consonância com a escola pitagórica como: a ideia de órbita e do movimento perfeito, quando o elétron realiza um movimento circular uniforme em torno do núcleo; o cálculo da energia do sistema (equação 19) em função dos estados estacionários sendo esses representados por números naturais, e a explicitação teórica e algébrica de um dado empírico (a constante de Rydberg).

Para a formação de uma substância gasosa como o exemplo mostrado na Dissertação aqui apresentada, para formar a molécula d'água faz-se necessário um padrão específico de volumes gasosos para os reagentes e produtos, indo além de uma contagem aritmética, pois nesse caso temos uma grande quantidade de moléculas interagindo e o foco da aritmética é somente a contagem e não a interação entre átomos. A proporção encontrada para a formação da água (H_2O) é 1: 2: 2, 1 mol de gás oxigênio (O_2) interagindo com 2 moles de gás hidrogênio (H_2), resulta em 2 moles de água (H_2O). O padrão encontrado na interação entre as moléculas, lembra o estudo de Pitágoras na emissão de notas musicais de acordo com comprimento da corda de um instrumento musical.

Na astronomia temos que os estudos de Kepler e Newton, se fundamentam na harmonização e geometrização cosmológica. Uma ideia marcante na filosofia pitagórica.

Vemos com isso que a filosofia influenciou decisivamente o desenvolvimento da ciência. Continua a influenciar, digamos de passagem. Um exemplo eloquente disso é que a *escola pitagórica*, que foi fundada no século VI a.c., ainda é citada e reverenciada. E seus princípios têm profunda repercussão na ciência moderna como no movimento dos corpos macrocósmicos, a estrutura do microcosmo (átomos), abarcando as interações entre átomos, moléculas e a formação de substâncias.

Os exemplos teóricos mostram a possibilidade de utilizar a filosofia pitagórica, como elemento pedagógico potencialmente significado para o ensino de Física. Já que através da filosofia pitagórica é possível ser utilizada como fator cognitivo ligante para compreender pontos teóricos da Física.

O material pedagógico: ‘*Breves poemas: A Influência da Escola Pitagórica nas Ciências Físicas*’, criado através das análises teóricas aqui investigadas, se mostrou eficaz durante a sua aplicação, mostrando o pensamento filosófico-científico de maneira mais simples e elucidativa para o aluno.

REFERÊNCIAS

ADAM HART - DAVIS. **O Livros da Ciência**. 2 ed. São Paulo: Globo, 2016.

ALONSO, M.; FINN, E. J. **Física: um curso universitário**. Coordenador da tradução: Giorgio Moscati. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1972.

Aprendizagem significativa-breve discussão. BNCC, 2022. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/implementacao/praticas/caderno-de-praticas/aprofundamentos/191-aprendizagem-significativa-breve-discussao-acerca-do-conceito#:~:text=Para%20Ausubel%2C%20quando%20algu%C3%A9m%20atribui,aceitos%20no%20contexto%20do%20sujeito.>>. Acesso em: 13, 07,2022.

ARANHA, M.L.A; MARTINS, M.H.P. **Filosofando: introdução à filosofia, volume único**. 6 ed. São Paulo: Moderna, 2016.

ARANHA, M.L.A; MARTINS, M.H.P. **Filosofando: introdução à filosofia**. 2 ed. São Paulo: Moderna, 1997.

AUSUBEL, David P., NOVAK, Joseph D., HANESIAN, Helen. **Psicologia educacional**. Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

ARISTÓTELES, **Metafísica**, São Paulo, Edições Loyola, p. 27, 2002.

BARROS, Manoel de. **Matéria de poesia**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Alfabeta, 2019.

BASTOS FILHO, J. B. **Pode-se progredir com base em fundamentos inconsistentes? (O caso do átomo de Bohr)**, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Vol. 20, n. 3 (2003), p 313 - 335.

BASTOS FILHO, J. B. **O Debate Hawking/ Penrose: O Positivismo, o Realismo e o Estatuto das Teorias Científicas**, Norte Ciência, Vol. 1, n. 2, 2010, p. 6-15.

BOHR, N. **Física Atômica e conhecimento humano: ensaios 1932-1957**. 1 ed. Rio de Janeiro: Contra-ponto, 1995.

BUNGE, M. **Twenty-five centuries of Quantum Physics: from Pythagoras to us, and from subjectivism to realism**. Science & Education (separata), 2001.

CHAUÍ, M. **Iniciação à filosofia: ensino médio, volume/ único**. 1 ed. São Paulo: Ática, 2010.

CHINAZZO, S.S.R. **Epistemologia das ciências sociais**. 1 ed. Curitiba: InterSaberes, 2013. p.113.

COPÉRNICO, N. **As Revoluções dos Orbes Celestes**, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984 [tradução portuguesa do original em latim publicado em 1543]

DAMASIO, F. **O início da revolução científica: questões acerca de Copérnico e os epiciclos, Kepler e as órbitas elípticas**. Revista Brasileira de Ensino de Física, Vol. 33, n.3 (2011), p 3602.

DEL PICCHIA, Menotti del. **O Gedeão do Modernismo: 1920-1922**. Seleção e organização de Yoshie Sakiyama Barreirinhas. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira; São Paulo: Secretaria de Estado da Cultura 1983.

EINSTEIN, Albert. **Notas Autobiográficas**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira 1982, p 49.

FERREIRA, R. **Chemist's involvement in Society, parte II, Stanislao Cannizzaro**, Chemistry, vol. 43 p.18-13, dez. 1970.

GAARDER, Jostein. **O mundo de Sofia: romance da história da filosofia**. 1ª edição. São Paulo: Companhia das Letras, 2012.

GALILEI, G. **O Ensaíador** In: Coleção **Os Pensadores**, São Paulo, vol. **Galileu & Newton**, nova Cultural, 1987

GALILEI, G. **Diálogo sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico & Copernicano**, 2ª edição, tradução, introdução e notas de Pablo Rubén Mariconda, São Paulo: Discurso Editorial, Imprensa Oficial, 2004 [original em italiano publicado em Florença em 1632]

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 1..

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 2.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 3.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 4.

HAWKING, S. **O Universo numa Casca de Noz**. 1ª reimpressão. São Paulo: Editora Mandarim, 2002, p 31.

HORKHEIMER, M. & ADORNO, T. W., 1989, '**O Conceito de Iluminismo**', In: **Coleção 'Os Pensadores'**., Vol. Horkheimer & Adorno, Nova Cultural, São Paulo, p. 3-30.

HOUAISS, A. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**, Rio de Janeiro, Ed. Objetiva, 2009

KAHN, C.H. **Pitágoras e os pitagóricos**. São Paulo: Edições Loyola, 2007.

KOESTLER, Arthur. **O Homem e o Universo: Como a concepção de Universo se modificou através dos tempos**. Trad. Alberto Denis. 2^a ed. São Paulo: IBRASA, 1989, p 7.

LEOPARDI GONÇALVES M. G.; BASTOS FILHO, J. B. **Controvérsias sobre o Positivismo: uma Torre de Babel**, *Psicologia & Saberes*, Vol. 7, n. 8, 2018, p.140-162.

MARCELO, GLEISER. **A música das esferas**. 2007. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe2110200702.htm>. Acesso: 25 nov. 2018.

NIETZSCHE. **O nascimento da filosofia na época da tragédia grega, in: *Os pré-socráticos***. Tradução de Rubens Rodrigues Torres Filho. São Paulo: Abril Cultural, 1973, p 62.

ORDINE, N. **A Utilidade do Inútil: Um Manifesto**, Rio de Janeiro: Zahar, 1^a ed. tradução de Luiz Carlos Bombassaro, 2016

O que é afinal aprendizagem significativa? Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 de abril de 2020. Aceito para publicação, *Qurriculum, La Laguna, Espanha*, 2012. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/oqueefinal.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2022.

RAELE; ANTISERI. **História da Filosofia: filosofia pagã antiga v.1**. 3^a ed. São Paulo: Paulus, 2003, p.45.

RUSSELL, Bertrand. **Storia della Filosofia Occidentale**. 3^a ed. Milão: Teadue 3^a. [originalmente publicado em inglês em 1945].

SANTOS, A. K. H. . MELANCOLIA INTERPRETADA À LUZ DO MATERIALISMO PRÉ-SOCRÁTICO. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, [S. l.]**, v. 8, n. 7, p. 1208–1225, 2022. DOI: 10.51891/rease.v8i7.6331. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/6331>. Acesso em: 1 set. 2022.

SANTOS SILVA, A.; BASTOS FILHO, J. B. 'Pressupostos Epistemológicos do Construtivismo, Passagem Complexa para o Plano Didático e Vários Mal-entendidos' **Vitruvian Cogitationes**, v. 2, n. 1, p.76-97, 2021

USBERCO; SALVADOR. **Química, volume único**. 7^a ed. reform. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

APÊNDICE

Aleff Kennety Henrique dos Santos

BREVES POEMAS:

**A INFLUÊNCIA DA
ESCOLA PITAGÓRICA NAS
CIÊNCIAS FÍSICAS**



SUMÁRIO

1-OBJETIVO DO TEXTO

2- OS FÍSICOS SÃO OS PRIMEIROS

3- O PAI DA CIVILIZAÇÃO

4- A PITAGORIZAÇÃO CIENTÍFICA, POPPER ANUNCIA

5- ATÉ VOCÊ, HAWKING!

6- BUNGE, O RESSALTADOR DE PITÁGORAS

7- HARMÔNICOS DA ONDA MECÂNICA

8- QUEM É O PAI?

9- A TRINDADE KEPLERIANO-PITAGÓRICA

10- HÁ MÚSICA NO CÉU!

11- UNIVERSAL EQUAÇÃO NEWTONIANA

12- NEWTON MAIS UM PADRONIZADOR DOS ASTROS

13- O MILAGRE PROPORCIONAL DE UMA QUÍMICA EQUAÇÃO

14- A ELÉTRICA QUANTIZAÇÃO PITAGÓRICA

15-MODELO ATÔMICO PITAGÓRICO DE BOHR

REFERÊNCIAS

OBJETIVO DO TEXTO

O presente livreto que estais na mão,
Tem como objetivo,
Mostrar poeticamente,
A contribuição de um pensador antigo,
Que viveu na Antiguidade Clássica,
Sua contribuição chegou em nossa época,
E seus preceitos,
Contribuíram de forma epistemológica,
Na física astronômica,
Física atômica,
Na descrição da molécula d'água.
Esse antigo pensador é o filósofo Pitágoras.

OS FÍSICOS SÃO OS PRIMEIROS

A primeira filosófica atividade,
Na sociedade ocidental,
Foi na Grécia Antiga,
Durante o século VI a.C,
A original preocupação dos pensadores,
Da época enfocada era encontrar o que constituía a realidade,
O que estruturava a natureza física,
Qual elemento ou termo estruturava a physis,
A busca do princípio que arquiteta o mundo material,
O interesse era encontrar o princípio fundamental,
A essência física para o que é natural,
Definir a cosmológica arché.

Os indivíduos que tinham a empreitada,
A busca pelo fundante elemento,
São conhecidos como primeiros físicos,
E também filósofos essencialistas,
Perceba a preocupação,
Não era com antropologia,
E sim com a natureza física,
Na História da Filosofia,
Esses pensadores são os ditos pré-socráticos.

O PAI DA CIVILIZAÇÃO

Pitágoras!

Excepcional filósofo,

Pré-socrático bastante conhecido,

Tanto no mundo antigo,

Quanto no contemporâneo.

Buscou o fundamento do mundo,

Nos elementos quantitativos,

Buscasse a quantidade ao invés da qualidade.

Suas conclusões musicais,

E o seu modelo cosmológico para o mundo,

Harmônico,

Belo e geométrico,

Para você a essência da realidade é a Matemática.

Os elementos naturais,

Todos eles apresentam leis específicas e proporcionais,

Os astros com seus movimentos,

As meteorológicas condições,

Até o som emitido em um musical instrumento,

Tudo isso é matemática,

E sem ela,

Nada pode ser explicado.

E sua quantização dos físicos componentes,

Tudo tendo um ente básico,

A unidade é o fundamento.

Tudo isso é múltiplo do primeiro harmônico,

E os outros são naturalmente produtos do unitário.

E sua ideia perfeita de simetria,

Na plana geometria,

O círculo é sua forma perfeita,

No tridimensional a esfera é a figura ideal.

Pitágoras de Samos,

O seu matemático pensamento é tão forte,

Que passou de sua época.

Sua tamanha influência é tão grande,

Até Russel diz não saber se há,

Algum ser humano com tamanha contribuição,

Para a história da civilização.

A PITAGORIZAÇÃO CIENTÍFICA, POPPER ANUNCIA

Sábio Pitágoras,
Grande sua filosofia,
Analisou os padrões sonoros ao dedilhar uma corda,
E os sistematizou por meio de elementos racionais,
A Physis compreendida em termos quantitativos,
Generalizasse a música da corda,
E querias encontrar o concerto cosmológico.

Sim, sim...
Grandiosíssimo Senhor Pitágoras,
A natureza é analisada por meio dos números,
Popper já dizia...
Não se tem como fazer ciência,
Sem magnificência matemática.
O resplendor das pitagóricas teorias,
Foram além do seu tempo.

ATÉ VOCÊ, HAWKING!

Hawking até você que dissestes a morte da filosofia,
Em suas teorias estão embutidas a maestria de Samos.
Não é verdade Hawking?
Falastes precisamente sobre a modelagem matemática na ciência,
Não é muito irônico,
Ressaltar a grandiosíssima importância dos números na teoria científica,
Nisso reafirma os ditos do filósofo Pitágoras.

Há muita filosofia na sua ciência, Sr.Hawking,
Por mais moderna que ela seja,
A lei é quantificar a natureza,
Isso mesmo Hawking,
Deixastes a filosofia mais viva,
Tu mesmo disseste:
“ O cosmos seria explicado por números”.
Lembraste de Pitágoras de Samos?

BUNGE, O RESSALTADOR DE PITÁGORAS

Donde tirastes a ideia Mario Bunge,
Que a teoria quântica nasceu na Antiguidade?
Quais são as máximas dos antigos,
A causar tamanha repercussão?
Foi Pitágoras,
Com sua quantização.
Físicos Quânticos, novos, velhos ou pré;
Todos eles bebem da musicalidade.
Bunge, tamanha sua ousadia em buscar a raiz das leis proporcionais.

HARMÔNICOS DA ONDA MECÂNICA

Movimento periódico nas ondas mecânicas,
Onde seus harmônicos são escritos por números naturais,
Sendo esses diferentes de zero.
Veja os estudos dos pensadores:
D'Alembert e Fourier,
As suas descobertas apontam,
Elas indicam a ancestralidade,
Ancestralidade do Filósofo Pitágoras.

QUEM É O PAI?

Planck,
Quão magnífica
É sua elucidação,
A luz é também partícula,
Propagando em pacotes unitários,
A energia emitida:
É múltipla da frequência do raio luminoso,
Em quantidades numéricas específicas,
Planck, o que fizestes com Física?
Foi você mesmo que elaborou a tese das trocas de energias não contínuas!
Deve ter ficado muito feliz,
Em ser o Pai,
Em ser o Pai da Física Quântica.

Ah, Planck!
A interpretação da natureza discreta,
Não começa com o Senhor,
Ela vem de um antigo pensador,
Talvez até o conhecesse
Por meio dos antigos escritos,
Da Escola Pitagórica,
A natureza magnífica e numérica.

Sem grandes experimentações,
O Antigo senhor,
Pitágoras, comunicou:
“ A natureza é quantizada por números naturais”.
Agora Max Planck,
Quem é o Pai?
Será que você não é o filho?

A TRINDADE KEPLERIANO-PITAGÓRICA

Ilustríssimo Johannes,
As suas Leis Astronômicas,
Elas são profundamente musicais,
Igual a um concerto,
Regido por sintonias perfeitas.

Onde cada planeta apresenta,
Raio translacional e período,
Proporcionais e específicos,
E translado elíptico,
Sol em um dos focos da trajetória,
E sua lei das áreas,
O mundo percorre regiões equivalentes,
Em intervalos temporais concordantes.

Kepler,
As acima conclusões cosmológicas
Foram somente das observações,
Não há nenhum fundamento filosófico,
Fala Astrônomo?
Quais foram as suas fontes ideológicas?
O Universo é mesmo Homônimo?

O ordenamento perfeito kepleriano,
Tem fundamentos epistêmicos,
Em Samos,
Lembremos o expressado por Aristóteles:
“ Os pitagóricos pensaram que céu era harmonia e números”.

HÁ MÚSICA NO CÉU!

Imagine uma elíptica trajetória,
Agora o Sol estando em um dos pontos focais,
Faço o raio médio da órbita,
Lembre-se que ele é calculado pela média aritmética,
Entre o periélio,
O valor da distância mais próxima entre planeta e sol;
E afélio,
Comprimento maior entre planeta e a estrela.

Cabe aqui definir o período orbital,
É o intervalo temporal,
Que o planeta faz uma volta na estrela,
Vou também lhe informar,
Essa medida é também conhecida como tempo transacional.

Pela Terceira Lei Kepleriana:
O quadrado do tempo transacional,
Se é proporcional ao cubo do raio medial.
É Kepler reabrindo e recitando,
A grande música que há nas esferas celestiais.

UNIVERSAL EQUAÇÃO NEWTONIANA

Newton!
A sua Lei Universal,
A Lei da Gravitação,
É presente em todo corpo material,
Independentemente do local e ponto espacial,
Matéria atrai matéria.

Newton!
Matematizou a Universal Lei,
Matéria atrai Matéria,
Por conta de uma intensidade,
Quantificada pela expressão:
O valor da força gravitacional,
Possui direta proporção com os valores massivos dos corpos,
Quadraticamente inversa à distância entre eles.

Matematizou universalmente,
Todos os componentes existentes,
Sir Isaac Newton,
Qual foi sua epistemológica base?
A natureza analisada,
Unificada
E quantificada.

Parece Mr. Isaac,
Somente é possível,
Compreender o magnífico cosmos,
Por conta dos números.

NEWTON MAIS UM PADRONIZADOR DOS ASTROS

Considere uma elipse,
Com excentricidade um,
Então o que temos é uma circunferência,
No centro dela um astro de massa imensa,
O corpo na situação apresentada é uma estrela,
Na circunferência se orbita um astro de menor dimensão,

Perceba,
Então temos um planeta orbitando à estrela.
Onde o planeta descreve uma órbita circular.
Existe uma atrativa relação,
A força gravitacional entra em ação,
As massas dos corpos celestes sofrem uma força de atração,
Como a trajetória é circular,
A força gravitacional é a resultante centrípeta.

A força gravitacional é sempre atrativa,
O planeta é atraído em direção à estrela,
Assim como a estrela é atraída ao planeta,
Como o sol apresenta imensa massa,
O seu ínfimo movimento é desprezado,
Agora o valor numérico da gravitacional força no sistema configurado,
Depende da multiplicação das massas do planeta e estrela;
E também multiplicado pelo inverso quadrático,
Da distância entre os objetos em questão apresentados.
Não esquecendo que a força gravitacional,
É proporcionalmente direta à constante gravitacional.

A força centrípeta é diretamente proporcional,
À massa do corpo em circular uniforme movimentação,
Sendo a medida inercial do astro de menor dimensão,
E também proporcionalmente direta,
Ao quadrado modular da velocidade orbital tangencial,
Do corpo em translação,
Proporcionalmente inversa ao raio "trajetorial",
Lembrando que na presente questão,
O raio é a distância do planeta à estrela,
Em qualquer situação.

Quando se iguala as equações,
Resultante centrípeta e força gravitacional,

Se chega ao módulo quadrático da velocidade orbital,
Tendo uma direta proporção com a massa da estrela,
E constante gravitacional,
E múltiplo inverso do raio orbital.

Agora não se pode esquecer,
Que o módulo da velocidade tangencial,
Analisado pela cinemática,
No movimento uniforme circular,
É definida pelo produto,
Entre os seguintes termos:
Dois, π , raio e o inverso do período orbital.
E o módulo quadrático da tangencial velocidade,
Apresenta como valor,
A multiplicação dos seguintes elementos:
Quatro;
 π^2 ;
Raio e inverso do período, ambos ao quadrado.

No sistema planeta-estrela,
Onde o planeta transaciona à estrela,
O módulo quadrático da velocidade tangencial,
Se é igual ao valor modular quadrático da velocidade orbital,
Então se igualando essas relações,
É chegado a uma maestral conclusão:
O período ao quadrado orbital do planeta,
É proporcional ao raio cúbico orbital.

A demonstração mostrada acima,
Nos revela,
A tamanha e profunda,
Aplicação da Universal Gravitação,
Para se chegar a Terceira Lei Kepleriana,
A conclusão que tiramos disso amigos,
É a presença de um cosmo harmônico,
Nos estudos de Newton.

Há então geometria,
Números,
Equações e padrões,
No cosmos narrado pelos:
keplerianos e newtonianos.

O MILAGRE PROPORCIONAL DE UMA QUÍMICA EQUAÇÃO

Quanta matemática,
Se tem para compreender uma equação química,
Proust reconhece bem isso,
É bem notório a importância das proporções,
Em sua Lei:
A padronização de uma substância,
Depende da mesma relação ponderal,
Entre reagente e produto.

Observe bem a formação,
A química equação do solvente universal,
H₂O a molécula da água,
Se precisa de um padrão para ser elaborada,
Dois moles de gás hidrogênio,
Um mol de gás oxigênio,
Para serem formados dois moles de água.

A proporção acima apresentada,
Se ocorre devido à propriedade,
Diatômica do oxigênio e hidrogênio,
Propriedade também narrada,
Por Stanislao Cannizzaro.

Para acontecer o padrão
Dois, um, dois,
É preciso todos componentes,
Dos reagentes e produtos,
Estarem na mesma temperatura e pressão,
Conforme diz a máxima do cientista Lussac.

A equivalência acima dita,
Ressalta a máxima de Nietzsche:
“Na Química temos uma mistura,
Entre atomismo e pitagorismo”.

Até a Química,
Até a Química,
Não escapa da Influência de Pitágoras

A ELÉTRICA QUANTIZAÇÃO PITAGÓRICA

Carga elétrica uma importante configuração da matéria,
Tem propriedades interessantes,
Uma exímia descrição,
Foi descoberta em 1911,
Nos estudos de Millikan,
Onde se encontrou o valor da carga elementar,
E as outras cargas são múltiplas dela,
Não há meia carga elétrica,
As outras são múltiplas da unitária carga,
A multiplicidade é em valor inteiros.

Cabe aqui lembrar,
Seja elétron ou próton,
Ambos apresentam o mesmo valor modular da carga,
Sendo o número elementar por Millikan encontrado.

Até Bohr em sua modelagem atômica,
Usou a numérica elaboração de Millikan,
Para descrever a carga elétrica,
No núcleo do átomo,
Sendo descrita pelo número de prótons no centro atômico,
Multiplicada pela constante ‘millikaneana’.

Millikan,
Magnífica sua elaboração,
A porção da matéria,
A carga elétrica,
Compreendida por unidade,
A Escola de Pitágoras,
Ainda tão bem expressada,
Iniciada na Antiguidade,
E presente nos estudos da eletricidade.

O MODELO ATÔMICO PITAGÓRICO DE BOHR

Venho aqui apresentar,
Uma linda conciliação,
Entre a Física Clássica
E a Velha Mecânica Quântica,

Olha a órbita do elétron,
Ao redor do núcleo atômico,
Do átomo de hidrogênio.
A trajetória do elétron,
Circular ela é.
O princípio relatado,
Viria criar uma confusão,
Um conflito com o eletromagnetismo de Maxwell,
Pois a partícula elétrica,
Emitiria energia,
Entrando em movimento espiralado,
Se chocando no interior do átomo.

Bohr,
Harmoniza e busca uma conciliação,
Entre o clássico e quântico,
Que tamanha elucidación.

Para superar o colapso elétrico de seu modelo,
Descreve o elétron se movimentando,
Em órbita circular específica,
Estando em uma dessas regiões não emitira irradiação,
Essa emissão somente ocorria,
Caso migrasse para outro orbital.
Outro ponto interessante,
É a energia de ligação do elétron,
Em cada camada eletrônica,
Onde ela é calculada,
Por meio do número da eletrônica camada,
Definida pelo número natural diferente de zero.

Observe bem,
Aqui temos uma bela página,
Da filosofia de Pitágoras,
Durante o século XX,

Bohr entoando a musicalidade,
Para as microcósmicas condições,
Quantizando o mundo atômico,
Por números inteiros e positivos, diferentes de zero.

REFERÊNCIAS

ARANHA, M.L.A; MARTINS, M.H.P. **Filosofando: introdução à filosofia, volume único**. 6 ed. São Paulo: Moderna, 2016.

ARANHA, M.L.A; MARTINS, M.H.P. **Filosofando: introdução à filosofia**. 2 ed. São Paulo: Moderna, 1997.

ARISTÓTELES, **Metafísica**, São Paulo, Edições Loyola, p. 27, 2002.

BARROS, Manoel de. **Matéria de poesia**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Alfaguara, 2019.

BASTOS FILHO, J. B. **Pode-se progredir com base em fundamentos inconsistentes? (O caso do átomo de Bohr)**, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Vol. 20, n. 3 (2003), p 313-335.

BASTOS FILHO, J. B. **O Debate Hawking/ Penrose: O Positivismo, o Realismo e o Estatuto das Teorias Científicas**, Norte Ciência, Vol. 1, n. 2, 2010, p. 6-15.

BOHR, N. **Física Atômica e conhecimento humano: ensaios 1932-1957**. 1 ed. Rio de Janeiro: Contra-ponto, 1995.

BUNGE, M. **Twenty-five centuries of Quantum Physics: from Pythagoras to us, and from subjectivism to realism**. Science & Education (separata), 2001.

CHAUÍ, M. **Iniciação à filosofia: ensino médio, volume/ único**. 1 ed. São Paulo: Ática, 2010.

DAMASIO, F. **O início da revolução científica: questões acerca de Copérnico e os epíclis, Kepler e as órbitas elípticas**. Revista Brasileira de Ensino de Física, Vol. 33, n.3 (2011), p 3602.

DEL PICCHIA, Menotti del. **O Gedeão do Modernismo: 1920-1922**. Seleção e organização de Yoshie Sakiyama Barreirinhas. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira; São Paulo: Secretaria de Estado da Cultura 1983.

EINSTEIN, Albert. **Notas Autobiográficas**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira 1982, p 49.

FERREIRA, R. **Chemist's involvement in Society, parte II, Stanislao Cannizzaro**, Chemistry, vol. 43 p.18-13, dez. 1970.

GAARDER, Jostein. **O mundo de Sofia: romance da história da filosofia**. 1ª edição. São Paulo: Companhia das Letras, 2012.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 1..

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 2.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 3.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 4.

HAWKING, S. **O Universo numa Casca de Noz**. 1ª reimpressão. São Paulo: Editora Mandarim, 2002, p 31.

HORKHEIMER, M. & ADORNO, T. W., 1989, '**O Conceito de Iluminismo**', In: **Coleção 'Os Pensadores'**., Vol. Horkheimer & Adorno, Nova Cultural, São Paulo, p. 3-30.

HOUAISS, A. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**, Rio de Janeiro, Ed.Objetiva, 2009

KAHN, C.H. **Pitágoras e os pitagóricos**. São Paulo: Edições Loyola, 2007.

KOESTLER, Arthur. **O Homem e o Universo: Como a concepção de Universo se modificou através dos tempos**. Trad. Alberto Denis. 2ª ed. São Paulo: IBRASA, 1989 , p 7.

LEOPARDI GONÇALVES M. G.; BASTOS FILHO, J. B. **Controvérsias sobre o Positivismo: uma Torre de Babel**, Psicologia & Saberes, Vol. 7, n. 8, 2018, p.140-162.

MARCELO, GLEISER. **A música das esferas**. 2007. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe2110200702.htm>. Acesso: 25 nov. 2018.

NIETZSCHE. **O nascimento da filosofia na época da tragédia grega, in: Os pré-socráticos**. Tradução de Rubens Rodrigues Torres Filho. São Paulo: Abril Cultural, 1973, p 62.

O que é afinal aprendizagem significativa? Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 de abril de 2020. Aceito para publicação, Qurriculum, La Laguna, Espanha, 2012. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/oqueeafinal.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2022.

RAELE; ANTISERI. **História da Filosofia: filosofia pagã antiga v.1**. 3ª ed. São Paulo: Paulus, 2003, p.45.

RUSSELL, Bertrand. **Storia dela Filosofia Occidentale**. 3ª ed. Milão: Teadue 3ª. [originalmente publicado em inglês em 1945].

USBERCO; SALVADOR. **Química, volume único**. 7^a ed.reform. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.