

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL
CAMPUS BENTO GONÇALVES**

**ELABORAÇÃO DE TEXTOS DIDÁTICOS PARA UMA ABORDAGEM
HISTÓRICA SOBRE O CONCEITO DE GRAVIDADE**

GABRIELA MIKOASKI

Bento Gonçalves, Novembro de 2019.

GABRIELA MIKOASKI

**ELABORAÇÃO DE TEXTOS DIDÁTICOS PARA UMA ABORDAGEM HISTÓRICA
SOBRE O CONCEITO DE GRAVIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado junto ao curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – *campus* Bento Gonçalves, como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciada em Física.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Vinícius dos Santos Rebeque

Bento Gonçalves, Novembro de 2019.

GABRIELA MIKOASKI

ELABORAÇÃO DE TEXTOS DIDÁTICOS PARA UMA ABORDAGEM HISTÓRICA
SOBRE O CONCEITO DE GRAVIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado junto ao curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – *campus* Bento Gonçalves, como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciada em Física.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Vinícius dos Santos Rebeque

Aprovada em Novembro, 2019.

Prof. Dr. Paulo Vinícius Rebeque – Orientador

Prof. Me. Maurício Henrique de Andrade – IFRS, *campus* Bento Gonçalves

Prof. Dr. Rafael de Carvalho Barbosa – IFRS, *campus* Bento Gonçalves

*“Os caminhos que conduzem o homem ao saber
são tão maravilhosos quanto o próprio saber”.*

Johannes Kepler

RESUMO

A abordagem histórica e filosófica da Ciência pode ser utilizada como uma ferramenta para ajudar na construção do pensamento crítico. Ela implica na compreensão não apenas do resultado final, mas de todos os processos envolvidos para a construção de conceitos científicos. Várias pesquisas já foram feitas na área e elas focam no processo da construção da Ciência, buscando mostrar que o desenvolvimento dos conceitos não segue um caminho já definido. Utilizar a História da Ciência para equilibrar os aspectos técnicos com os aspectos sociais, humanos e culturais, contribui para uma aula mais motivadora. Mas, para esse tipo de abordagem é necessário realizar uma pesquisa acerca de como o conteúdo está sendo apresentado em sala de aula, o que se torna fundamental para entendermos o contexto em que estamos trabalhando. Dessa maneira, elaboraram-se quatro textos didáticos nos quais procuram realizar uma construção histórica sobre a Lei da Gravitação Universal. Eles começam desde o período da Antiguidade e fazem uma cronologia até a publicação do livro “Princípios matemáticos da filosofia natural” de Isaac Newton. Para isso, fez-se uma revisão bibliográfica sistemática, na qual se procurou diversos artigos, trabalhos e pesquisas em anais de eventos e periódicos de Ensino de Física que abordavam direta ou indiretamente o assunto a ser discutido, além da leitura de livros sobre a história do conceito de gravidade. Também se utilizou um referencial teórico, baseado em diversas pesquisas sobre a importância de abordar a História e Filosofia da Ciência em sala de aula na Educação Básica e como realizar essa abordagem de forma coerente. Os textos didáticos apresentados servem com um apoio para o professor e o aluno construírem os conceitos a serem trabalhados de forma histórica. Pretende-se continuar esta pesquisa a partir de uma ampliação da revisão bibliográfica e também pretende-se aplicá-los e analisar como se deu a aprendizagem dos alunos através destes textos, para aprimorá-los e aumentar seu potencial.

Palavras-chave: História da Ciência, Lei da Gravitação Universal, textos didáticos.

ABSTRACT

The historic and philosophical approach of Science can be used like a tool to help build critical thinking. It implies understanding all the processes involved in the construction of scientific concepts, not just the result. Several researches have already been done in the physics education, these searches focus on the process of Science construction, seeking to show what the concepts development does not follow a defined path. Using the History of Science to balance the technical aspects with the social, humans and cultural aspects contribute to a more motivated class. However, for this rather approach it is necessary realize a research of the content that is been presented in the classroom, what it turns fundamental to understand the context we are working. In this way, it elaborates four didactic texts that shows a historic construction of the Law of Universal Gravitation. They starts since the Antiquity and makes a chronology until the publication of "Mathematic principle of natural philosophy" by Isaac Newton. For this, it made a systematic bibliographic review, which it looked on several articles, one addressed direct or indirect gravity, as well as reading books on the history of the concept of gravity. In addition, it has used a theoretical framework, based on several researches about the importance of approaching the History and Philosophy of Science in classes on basic education and how realize it on a coherent form. The didactic texts serves like a support for the teacher and student build the subjects in a historic form. It is intended to continue this research from a broadening of the literature review and intends to apply them and analyze how the students' learning through these texts, to improve them and increase their potential.

Key-Words: History of Science, Law of Universal Gravitation, didactic texts.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Estratégias utilizadas conforme cada concepção da construção do conhecimento.....	17
Tabela 02: Periódicos encontrados na revisão bibliográfica.....	21
Tabela 03: Referências utilizadas em cada texto.....	23
Tabela 04: Relação de Textos Elaborados.....	25
Tabela 05: Questões para discussão referentes ao texto 1 conforme justificativa....	42
Tabela 06: Questões para discussão referentes ao texto 2 conforme justificativa....	43
Tabela 07: Questões para discussão referentes ao texto 3 conforme justificativa....	44
Tabela 08: Questões para discussão referentes ao texto 4 conforme justificativa....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Universo Pirocêntrico de Filolau de Crotona.....	31
Figura 02: Universo Aristotélico – Modelo Geocêntrico.....	32
Figura 03: Modelo Ptolomaico – Epiciclos e Deferentes.....	33
Figura 04: Universo Copernicano – Modelo Heliocêntrico.....	35
Figura 05: Modelo Cosmológico de Kepler da obra “Mistério Cosmográfico”, de 1595.....	37
Figura 06: Órbita Elíptica.....	38
Figura 07: Lei das Áreas.....	38
Figura 08: Força de Atração Gravitacional.....	41
Figura 09: Precessão do Periélio de Mercúrio.....	41

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO	14
2. METODOLOGIA PARA A ELABORAÇÃO DOS TEXTOS	20
2.1. SELEÇÃO DO MATERIAL	20
2.2. A ELABORAÇÃO DOS TEXTOS	25
2.3. A ELABORAÇÃO DAS PROPOSTAS DIDÁTICAS	27
3. OS TEXTOS ELABORADOS	29
3.1. TEXTO 1: OS PRIMEIROS MODELOS COSMOLÓGICOS	30
3.2. TEXTO 2: A REVOLUÇÃO HELIOCÊNTRICA.....	33
3.3. TEXTO 3: AS ÓRBITAS ELÍPTICAS DE JOHANNES KEPLER	36
3.4. TEXTO 4: O DESENVOLVIMENTO DA LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL.....	39
3.5. SUGESTÕES PARA APLICAÇÃO DOS TEXTOS	42
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
5. REFERÊNCIAS	49
APÊNDICES.....	52
APÊNDICE A	52
APÊNDICE B	54
APÊNDICE C	56
APÊNDICE D	58

INTRODUÇÃO

O Ensino de Ciências tem por finalidade construir o pensamento crítico do aluno, ou seja, construir uma visão que faz com que nos relacionemos criticamente com o mundo (MOURA; SILVA, 2014). Isso o prepara para, além de compreender as inovações tecnológicas da Ciência, desenvolver as competências necessárias para o processo de ensino-aprendizagem da Ciência. Nessa perspectiva, a abordagem histórica e filosófica da Ciência em sala de aula vem sendo recomendada como uma ferramenta para a construção desse pensamento, especialmente aspectos epistemológicos da Ciência (FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011).

Percebe-se, então, o destaque que a História da Ciência possui e qual é o seu papel na educação científica. Ela implica na compreensão, não só do resultado final, mas sim, de todos os processos envolvidos para a construção do conhecimento. Portanto, muitos trabalhos foram desenvolvidos, tentando mostrar aos professores e alunos que o método científico (Baconiano)¹, baseado numa rígida sequência de passos, era uma ilusão, apesar de ter sido importante para o desenvolvimento da Ciência em alguns momentos históricos. Esses trabalhos focaram no processo de construção de uma teoria ou conceito, buscando mostrar que o desenvolvimento dos conteúdos na Ciência não segue um caminho definido *a priori*, como é comumente mostrado nos livros e outros materiais didáticos (OLIVEIRA, 2002; SILVA, TEIXEIRA, 2009).

Este problema pode vir a ser amenizado com a abordagem da História da Ciência na Educação Básica. Ela ajuda a vermos o processo de construção do conhecimento científico e como ele foi desenvolvido ao longo dos anos, ou seja, um processo muito parecido com que o aluno passa em sala de aula (MARTINS, 2006). Além disso, ela também faz com que percebamos o processo coletivo e gradual da

¹ Método Científico Baconiano: consiste basicamente na indução verdadeira e na demonstração experimental, chamados de “auxílios metodológicos”. A indução verdadeira, citada por Francis Bacon (1561-1626), é um raciocínio composto por antecedentes, onde o princípio é a observação empírica regular e sistemática. Resumidamente, o método científico Baconiano se baseia em uma sequência de passos mecânica, em que, apenas desse modo, poderemos chegar à verdade (SILVA, 2015).

construção do conhecimento, permitindo formar uma visão não errônea da Natureza da Ciência, mas sim, concreta e real de seus procedimentos e limitações (MARTINS, 2006, p. 2).

A Ciência não brota pronta na cabeça de “grandes gênios”. Muitas vezes, as teorias que aceitamos hoje foram propostas de forma confusa, com muitas falhas, sem possuir uma base observacional e experimental. Apenas gradualmente as ideias vão sendo aperfeiçoadas, através de debates e críticas, que muitas vezes transformam totalmente os conceitos iniciais.

Segundo Martins (1990), um bom professor de Ciência deve dominar o conteúdo que irá ensinar e também ter certa competência didática. A História da Ciência pode contribuir com esses dois deveres do professor. Por exemplo, utilizar a História da Ciência para equilibrar os aspectos técnicos com os aspectos sociais, humanos e culturais, contribui para aulas mais motivadoras, além de mostrar uma nova visão da Ciência e não mais a de senso comum para o estudante.

No entanto, realizar uma pesquisa acerca de como o conteúdo está sendo apresentado em sala de aula é fundamental para entendermos o contexto em que estamos trabalhando. Dessa maneira, é possível realizar estudos que busquem reconhecer os problemas enfrentados em um ponto de vista educacional, respeitando as visões coerentes da construção do conhecimento científico. Assim, percebe-se o destaque que uma abordagem de qualidade da História e Filosofia da Ciência pode ter em sala de aula, revelando também a importância deste trabalho no contexto atual de ensino e, conseqüentemente para uma abordagem adequada da História e Filosofia da Ciência na Educação Básica (MARTINS, 1990).

Como docente, percebe-se uma grande dificuldade em achar materiais didáticos nos quais abordam História da Ciência, respeitando as visões coerentes, não as de senso comum. É normal ver-se apenas nomes de alguns cientistas e filósofos naturais, mas não como esses pensadores chegaram a suas principais leis e teorias com a contextualização da sociedade da época em que se deram as pesquisas sobre o assunto. Dando aulas em uma turma de primeiro ano do Ensino Médio, notou-se um interesse maior dos alunos, em relação ao conteúdo ministrado, quando se abordava elementos da História da Ciência. A justificativa para este trabalho surge do contexto educacional vivenciado ao longo da graduação, da importância que a História da Ciência tem para contribuir com as concepções dos estudantes acerca da Natureza

da Ciência e da carência de materiais didáticos adequados para o Ensino de Física com uma abordagem histórica.

Assim, o objetivo geral deste trabalho é elaborar textos didáticos e apresentar propostas nas quais procuram realizar uma construção histórica sobre a Lei da Gravitação Universal. Para isso, tem-se como objetivos específicos:

- Empreender uma pesquisa em textos acadêmicos que tratam a importância da abordagem histórica no Ensino de Ciência e como ela deve ser feita;
- Realizar uma revisão sistemática da literatura em textos que envolvam a história do conceito de gravidade, em revistas e anais de eventos específicos do Ensino de Física;
- Criar propostas didáticas para a aplicação dos textos elaborados em sala de aula, focadas em turmas do 1º ano do Ensino Médio.

Escolheu-se o conteúdo de Gravitação Universal pois é um conteúdo já trabalhado de forma histórica nos livros didáticos, mas normalmente são trazidos a partir de recortes históricos ou apenas com o resultado final de determinado modelo ou teoria.

A partir das pesquisas realizadas, decidiu-se elaborar quatro textos que abordam, historicamente, o conceito de gravidade. Eles englobam assuntos como os primeiros modelos cosmológicos que surgiram na Antiga Grécia, a Revolução Heliocêntrica do século XV, a influência das Leis de Kepler para a construção do conceito de gravidade e como Isaac Newton chegou à Lei da Gravitação Universal. Para isso, fez-se uma revisão bibliográfica, na qual se procurou diversos artigos, trabalhos e pesquisas em anais de eventos e periódicos de Ensino de Física que abordavam direta ou indiretamente o assunto a ser discutido, além da leitura de livros sobre a história do conceito de gravidade. A metodologia utilizada para a elaboração dos textos está descrita no Capítulo 2 deste trabalho.

Fez-se também o uso de um Referencial Teórico no qual descreve a importância de uma abordagem histórica no Ensino de Ciência, além de como deve-se realizar esta abordagem em sala de aula. Este referencial foi construído a partir de diversos artigos que englobam este tema e trazem algumas estratégias para ensinar

ciências utilizando como ferramenta a abordagem histórica. Esta parte do trabalho está descrita no Capítulo 1.

Para a utilização dos textos, sugerem-se algumas alternativas para serem trabalhadas em sala de aula. Propõem-se algumas reflexões para discutir após a leitura dos mesmos. Essas questões foram elaboradas a partir de experiências docentes com uma turma do 1º ano do Ensino Médio e artigos encontrados que apresentam propostas sobre o assunto. Alguns temas das discussões não estão presentes nos textos apresentados, fazendo-se fundamental o papel do professor. Estas sugestões são descritas no capítulo 3, juntamente com os textos elaborados.

Deixa-se claro que estes textos ainda não foram devidamente aplicados, portanto não há como tirar conclusões de sua potencialidade. Por esse motivo, umas das perspectivas para a continuação dessa pesquisa é a aplicação deste material em uma turma do 1º ano do Ensino Médio, para perceber se eles cumprem com o objetivo de uma abordagem histórica na Educação Básica e, caso seja necessário, aprimorá-los.

1. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

Neste capítulo será tratado sobre alguns estudos realizados por pesquisadores da área de Ensino de Ciência e da área de História e Filosofia da Ciência. São apresentados artigos que, além de afirmarem a importância de uma abordagem histórica no Ensino de Física, falam sobre os cuidados a serem tomados para uma apresentação adequada de fatos e episódios históricos, nos quais respeitam as concepções corretas da Natureza da Ciência. Dessa maneira, este referencial teórico-metodológico teve como objetivo ajudar na construção dos textos didáticos sobre a história do conceito de gravidade, que foram elaborados. Ele vem da necessidade de adquirir certo conhecimento sobre como abordar História e Filosofia da Ciência em sala de aula, amparando na escrita na elaboração de um material didático.

Os artigos deste capítulo foram encontrados a partir de estudos e discussões realizadas em disciplinas da grade curricular do curso de Licenciatura em Física do IFRS/BG, além de buscas a partir de palavras-chaves como “História da Ciência”, “História da Física” e “Abordagem Histórica e Filosófica da Ciência” no *Google Acadêmico*. Com essa pesquisa, percebeu-se que existem vários estudos nessa área, onde mostram não só a importância desse tipo de abordagem na Educação Básica, mas também os cuidados que devem ser tomados ao optar por ensinar História da Ciência.

O Ensino de Ciências com uma abordagem histórica não se dá apenas por um pouco de cronologia e nomes de cientistas famosos, ou até de lendas e anedotas dos mesmos (MARTINS, 1990). Para evitar esse tipo de abordagem, há uma grande necessidade de uma boa formação inicial do professor, além de formações continuadas, e ela também pode colaborar para evitar esse tipo de visão distorcida, gerando uma melhor compreensão do processo de ensino-aprendizagem da Ciência (MARTINS, 2007). Para essa formação acontecer, conforme Moura e Silva (2014), é necessário que o professor seja um crítico-transformador, ou seja, ele deve compreender seu papel formador e não ignorar a relação entre a Ciência e o contexto na qual ela foi desenvolvida.

Nesse sentido, várias disciplinas com questões históricas e filosóficas, estão cada vez mais presentes dos cursos de licenciatura (MOURA; SILVA, 2014), além de o tema estar muito presente na pesquisa em diversas dimensões (MARTINS, 2007). Porém, segundo Martins (2006), ainda há grandes dificuldades em implantar, de fato, a História da Ciência no ensino, tanto nos níveis superiores, como na educação básica. Este autor traz três barreiras para isto acontecer, são elas: (1) a falta de professores com formação adequada para fazerem pesquisas na área de forma correta, (2) a carência de material didático adequado, como textos por exemplo, que possam ser usadas no ensino, e (3) a visão errônea da Natureza da Ciência.

Além de ter uma falta significativa de pesquisadores da História da Ciência, há o problema desta pesquisa não chegar aos professores da rede básica de educação, conforme dizem Pena e Filho (2008). Há poucos materiais didáticos adequados para serem utilizados, e esses não são divulgados para os docentes, acarretando em uma visão equivocada da construção da Ciência. Todavia, mesmo considerando a abordagem histórica e filosófica na formação inicial dos professores, nada garante que será abordado em sala de aula na educação básica, tampouco ter uma reflexão aprofundada da importância da utilização da História e Filosofia como ferramenta de ensino.

As principais dificuldades surgem quando pensamos na utilização da História e Filosofia da Ciência para fins didáticos, ou seja, quando passamos dos cursos de formação inicial para o contexto aplicado do ensino de aprendizagem das Ciências (MARTINS, 2007, p. 4).

Em geral, o professor seleciona em períodos anteriores os fatores que contribuem para uma reconstrução racionalmente ordenada das etapas da criação de teorias e conceitos científicos aceitos pela Ciência contemporânea. As ideias e os acontecimentos do passado são organizados como se a elaboração de conceitos e teorias seguisse etapas encadeadas logicamente, cujo resultado final seria fatalmente encontrado. “Sobre essa perspectiva, deve-se reconhecer as etapas pela qual o conhecimento historiográfico passa, até chegar à sala de aula” (FORATO; MARTINS; PIETROCOLA, 2011, p.7).

Desse modo, realizar uma pesquisa acerca de como o conteúdo está sendo apresentado em sala de aula é fundamental para entendermos o contexto em que estamos trabalhando, para realizar estudos que busquem reconhecer os problemas

enfrentados em um ponto de vista educacional. Conforme Forato, Martins e Pietrocola (2011, p. 7),

a viabilização do uso da História da Ciência na educação científica impõe considerar as especificidades de saberes e fazeres de distintos campos de conhecimento, buscando harmonizar as necessidades didático-pedagógicas e as histórico-epistemológicas.

Segundo Pérez *et al.* (2000) a visão distorcida da Ciência é disseminada através da educação informal e formal e que, para evitá-la deve-se insistir em uma abordagem correta na própria educação científica. Porventura, os autores estudaram algumas dessas deformações, as mais assinaladas pela literatura. A primeira, sendo dita pelos autores como a mais comum, é a concepção empírica indutivista e atórica. Essa concepção destaca o papel neutro das observações, deixando de lado as hipóteses como norteadoras da investigação, além das teorias já existentes que orientam o processo. Os autores perceberam que a visão dos professores não é diferente daquilo que denominam imagem ingênua da Ciência, aceita e difundida pela sociedade.

A segunda deformação estudada por Pérez *et al.* (2000) é a que transmite uma visão rígida e exata da Ciência. Ela se dá através do método científico (baconiano), que é caracterizado por uma sequência de passos e etapas que devem ser seguidas mecanicamente. Essa é uma concepção muito aceita e difundida entre os professores de ciências. A terceira é nomeada como uma visão aproblemática e ahistórica, tratando-se de uma concepção que é reforçada, através do ensino, por omissão. Ela

[...] transmite os conhecimentos já elaborados sem mostrar os problemas que lhe deram origem, qual foi a sua evolução, as dificuldades encontradas, etc., e não dando igualmente a conhecer as limitações do conhecimento científico atual nem as perspectivas que, entretanto, se abrem (PÉREZ *et al.*, 2000, p. 131).

A quarta visão é mencionada apenas por grupos de professores e não é tão tratada pela literatura. É uma visão exclusivamente analítica. Ela desvaloriza e gera o esquecimento dos processos da unificação da Ciência como característica necessária para a evolução da mesma, o que gera uma grande dificuldade na educação científica. A quinta concepção errônea da Ciência refere-se a uma visão acumulativa e de crescimento linear. Ela ignora que a Ciência é o resultado de vários processos

complexos. Essa visão é uma complementação da visão rígida e exata, sendo uma concepção simplista de como a Ciência foi construída.

Também se tem a visão individualista e elitista. Ela é uma das mais citadas entre os grupos de professores e pela literatura. Nela, os conhecimentos científicos “aparecem como obras de gênios isolados, ignorando-se o papel do trabalho coletivo e cooperativo” (PÉREZ, *et al.* 2000, p. 133,). Muitas vezes, vê-se que o trabalho científico é apenas para pessoas superdotadas, fazendo com que os alunos tenham expectativas negativas sobre a Ciência. Por último, os autores referem-se à imagem socialmente neutra da Ciência. Essa visão é responsável pelo esquecimento de que a Ciência se dá a partir de uma relação complexa com o momento histórico e social.

Apesar de haver inúmeras concepções erradas e estereotipadas da Ciência, se conseguirmos abordar sua história de modo que não abrangesse as visões citadas anteriormente, tem-se a possibilidade de fazer com que o aluno observe o processo de construção do conhecimento científico (OLIVEIRA, 2002). Segundo Martins (2006), para “destruirmos” essas concepções alternativas da Ciência é necessário o uso de novas estratégias de ensino. Destacado por ele, os professores devem (1) conhecê-las e não aparentar o desconhecimento delas, (2) não ridicularizá-las, mas sim tratá-las com o devido respeito, (3) entender seu papel transformador para o indivíduo, (4) compará-las com concepções aceitas atualmente e também outras, e por fim (5) analisar os prós e contras de cada uma delas.

Com esse estudo, percebe-se o importante papel da História da Ciência no ensino de Física e o quanto ela pode aprimorar a prática pedagógica de um professor. Dessa maneira, pensou-se em algumas estratégias para a elaboração dos textos nas quais contemplem estes aspectos, conforme o Referencial Teórico descrito. Para uma melhor organização dessas estratégias, montou-se a tabela abaixo na qual são listadas cada uma das concepções distorcidas da Natureza da Ciência e as estratégias adotadas para evitar cada uma delas.

Tabela 01: Estratégias utilizadas conforme cada concepção da construção do conhecimento

Concepção	Estratégias Utilizadas
Ateórica	Para esta concepção, tentou-se mostrar que várias ideias dos filósofos naturais apresentados surgiram através de teorias já existentes ou

	pensadas por outros filósofos, apresentado cada uma delas e suas respectivas influências.
Rígida	Através da descrição de como alguns filósofos naturais chegaram a suas conclusões, podemos perceber que não há uma sequência rígida de passos que devem ser seguidas, desconstruindo esta visão.
Ahistórica	Tentou-se quebrar esta visão, contextualizando a sociedade trabalhada em cada um dos textos, para o aluno perceber a influência que a mesma causa na construção do conhecimento.
Analítica	Nesta concepção, tentou-se trazer alguns exemplos de como as teorias foram unificadas ao passar dos anos.
Acumulativa	A construção do conceito de gravidade não se deu de forma linear, portanto, tentou-se mostrar diversas situações em que essa questão fica explícita.
Elitista	Apresentando outros filósofos naturais que tiveram grande importância na construção do conceito de gravidade, tentou-se mostrar que a ciência não pertence a apenas grandes gênios que fizeram grandes descobertas.
Neutra	Nem todas as teorias foram elaboradas de forma neutra, ou seja, tiveram influências sociais, políticas e culturais dentro do processo. Tentou-se desmistificar essa concepção apresentando como essas questões foram importantes na construção do conceito de gravidade.

Fonte: Dados da pesquisa

Outro ponto importante, descrito por Matthews (1995), é que podemos vincular algumas descobertas com o Ensino de Física para deixar a aula mais motivadora. A razão de se incluir alguns conhecimentos sobre História da Ciência é a generalização sobre o funcionamento dos empreendimentos científicos que não possuem um sentido quando são fornecido sem exemplos concretos, e alguns episódios históricos das buscas científicas para desenvolver a percepção de mudanças ao longo dos séculos.

Lembrando que a História da Ciência, tanto para o aluno quanto para o professor, pode vir a ser muito útil para abstrair as concepções distorcidas da ciência, deixar a aula mais motivadora e facilitar na aprendizagem do estudante pois, o processo pelo qual o aluno precisa passar é muito parecido com o processo do desenvolvimento da Ciência (BARROS; CARVALHO, 1998 *apud* MARTINS, 2006).

Deve-se lembrar de que, além dessas estratégias, o estudo detalhado e correto dos episódios históricos é insubstituível na formação de uma visão adequada. Ele pode nos mostrar o papel de diversos cientistas e pesquisadores no desenvolvimento das teorias, o processo de construção lenta da formação dos conceitos científicos, os grandes sucessos e fracassos cometidos pelos pesadores de cada época, entre muitos outros aspectos (MARTINS, 2006). Pensando nisso, fez-se uma revisão

bibliográfica sistemática do conteúdo que será trabalhado na elaboração dos textos didáticos descritos no objetivo do trabalho, que será melhor descrita no próximo capítulo.

2. METODOLOGIA PARA A ELABORAÇÃO DOS TEXTOS

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada para a elaboração dos textos. Primeiramente, será comentado sobre a seleção do material utilizado como fonte de pesquisa, buscados através de uma revisão bibliográfica. Em seguida, será falado sobre como se deu a união do referencial teórico com a pesquisa bibliográfica realizada e como foi feita a construção dos textos. Por fim, será apresentada como as propostas para aplicação dos textos em sala de aula foram desenvolvidas.

2.1. SELEÇÃO DO MATERIAL

Primeiramente, escolheu-se o tema que seria trabalhado neste conjunto de textos. Nesse sentido, foi escolhido o conteúdo previsto no currículo de Física do 1º ano do Ensino Médio, a Gravitação Universal. Este tema foi escolhido pois é um conteúdo já trabalhado de forma histórica nos livros didáticos, mas normalmente são trazidos a partir de recortes históricos ou apenas com o resultado final de determinado modelo ou teoria

Conforme citado por Forato, Martins e Pietrocola (2011), sobre a importância de uma pesquisa bem fundamentada para a abordagem histórica da Ciência em sala de aula, neste capítulo será apresentado como foi feita a pesquisa e seleção de materiais que foi realizada através de uma revisão bibliográfica. Essa pesquisa também serve para mostrar o papel de diversos cientistas e pesquisadores no desenvolvimento das teorias, o processo de construção lenta da formação dos conceitos científicos, os grandes sucessos e fracassos cometidos pelos pesadores de cada época, entre muitos outros aspectos (MARTINS, 2006).

Para esta seleção, buscou-se artigos que podiam ser utilizados na construção dos textos didáticos para o ensino do conteúdo de Gravitação Universal. Essa pesquisa teve grande importância na produção de um material didático que respeita

as visões corretas da ciência e para que não haja distorções históricas. É a partir disso que será construído um panorama histórico para então iniciar a produção dos textos.

Pensando nisso, foi realizada uma revisão bibliográfica dos últimos cinco anos, de 2015 a 2019, a partir de um tema principal: História da Física. Foram procurados artigos nos periódicos Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) e Física na Escola, com *qualis* A1, A2 e B1, respectivamente. Além destes periódicos, foram procurados trabalhos completos publicados nas três últimas atas dos eventos Simpósio Nacionais de Ensino de Física (SNEF) e Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF), por possuírem um tópico específico deste assunto. Nesta revisão, foram encontrados 252 artigos e trabalhos sobre o tema, conforme a Tabela 02. Estas revistas e eventos foram escolhidos por serem específicos da área de Ensino de Física, visto que, pelo tema escolhido para ser abordado nos textos didáticos elaborados sobre o conceito de gravidade ser específico da disciplina de Física.

Após a procura por artigos e trabalhos sobre História da Física, separaram-se os artigos sobre História da Gravidade. Nessa temática, foram selecionados 11 artigos. Esses artigos foram utilizados na pesquisa histórica sobre gravidade, conforme traçado nos objetivos deste trabalho. Salienta-se que, os artigos selecionados para revisão não necessariamente falam sobre a história da gravidade, mas acabam de alguma maneira contribuindo para a construção desse conceito.

Tabela 02: Periódicos encontrados na revisão bibliográfica

Periódico	Ano	Nº de artigos sobre História da Ciência	Nº de artigos sobre História da Gravidade
Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)	2019	8	1
	2018	11	0
	2017	10	0
	2016	1	0
	2015	10	1
Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF)	2019	4	0
	2018	11	0
	2017	12	0
	2016	6	0
	2015	11	0
Revista Física na Escola (RFE)	2019	0	0
	2018	3	0
	2017	3	0

	2016	5	1
	2015	0	0
Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF)	2019	36	2
	2017	27	2
	2015	23	3
Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF)	2018	12	0
	2016	14	0
	2014	16	0
	TOTAL	252	11

Fonte: Dados da pesquisa

Os artigos encontrados nesta revisão serviram para ajudar na elaboração dos textos. Eles abordam trabalhos de diversos filósofos naturais de um ponto de vista histórico desde a Grécia Antiga, onde se tem os primeiros modelos registrados, falando sobre a Revolução Científica ocorrida no século XV, até as pesquisas realizadas por Isaac Newton. Uma conclusão importante, feita a partir desta revisão, é que não foram encontrados artigos específicos da contribuição dos filósofos naturais árabes para o avanço científico europeu. Todas as informações resgatadas dessas contribuições foram retiradas de dois livros específicos da História da Gravidade. Além desse aspecto, estes livros foram as principais fontes de busca e pesquisa para a elaboração dos textos didáticos, visto que são livros específicos do tema e também já trazem os fatos históricos de maneira organizada.

Um dos livros, escrito por Cherman e Mendonça (2009), retrata como o conceito de gravidade foi construído ao longo da história, até chegar no conceito atual no qual utilizamos hoje. O outro livro, de autoria de Morais (2009), além de falar de forma mais resumida a construção da Lei da Gravitação Universal, ela aborda mais profundamente os conceitos físicos. Este livro foi a principal fonte de pesquisa por realizar uma abordagem completa e confiável do tema deste trabalho.

Com uma melhor percepção do tema, a partir da revisão bibliográfica e do referencial teórico, achou-se pertinente separar a história do processo de construção do conceito de gravidade em quatro diferentes textos, para tentar abranger um maior número de fatos históricos e criar maiores possibilidades de aplicação. Escolheu-se separar os textos conforme cada período histórico para melhor contextualização da sociedade de cada época, para desconstruir a visão ahistórica da Natureza da Ciência. Dessa maneira, no primeiro texto foram tratados os conceitos sobre gravidade

presentes nos modelos cosmológicos elaborados na Grécia Antiga. No segundo texto, fez-se uma transição dos modelos que eram aceitos pela sociedade, provenientes da Grécia Antiga, com a publicação de um novo modelo de Universo que causou uma Revolução Científica. No terceiro texto, escolheu-se trazer um estudo histórico sobre as órbitas elípticas presente nos trabalhos de Johannes Kepler, por ser um conteúdo previsto do currículo da disciplina de Física do Ensino Médio. Por fim, no último texto, decidiu-se trazer como Newton chegou em suas conclusões e no que conhecemos hoje como Lei da Gravitação Universal.

Para uma melhor explicação da organização dos artigos encontrados que foram utilizados nos textos elaborados, construiu-se a tabela abaixo na qual descreve as referências encontradas na revisão e os livros utilizados em cada um dos textos didáticos.

Tabela 03: Referências utilizadas em cada texto.

Texto	Referências Utilizadas
Os primeiros modelos cosmológicos	CHERMAN, A. MENDONÇA, B. R. Por que as coisas caem? Uma história da gravidade. Zahar, Rio de Janeiro, 2009.
	CORCETTI, N. T., VERASZTO, E. V. Aristóteles, uma porta aberta para o mundo da ciência. Atas do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Carlos, SP, 2017.
	CORCETTI, N. T., VERASZTO, E. V. Um estudo da contribuição de Ptolomeu para a evolução do modelo geocêntrico a partir de uma perspectiva histórica. Atas do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Carlos, SP, 2017.
	MORAIS, A. M. A. Gravitação & cosmologia: uma introdução. Livraria da Física, 1ª ed., São Paulo, 2009.
	PORTO, C. M. A física de Aristóteles: uma construção ingênua? Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 4, 2009.
	PORTO, C. M., PORTO, M. B. D. S. M. A evolução do pensamento cosmológico e o nascimento da ciência moderna. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 4, 2008.
	VELÁSQUEZ-TORIBIO, A. M., OLIVEIRA, M. V. Primeiro modelo matemático da cosmologia: as esferas concêntricas de eudoxo. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, n. 2, 2019.
A Revolução Heliocêntrica	CHERMAN, A. MENDONÇA, B. R. Por que as coisas caem? Uma história da gravidade. Zahar, Rio de Janeiro, 2009.

	CORCETTI, N. T., VERASZTO, E. V. Contribuições de Galileu Galilei para a evolução do conhecimento científico e suas implicações no ensino de física. São Carlos, SP Atas do XXIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Salvador, BA, 2019.
	CORCETTI, N. T., VERASZTO, E. V. História da ciência: o modelo heliocêntrico de Copérnico e suas contribuições para o ensino de física. Atas do XXIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Salvador, BA, 2019.
	DAMASIO, F., PEDUZZI, L. O. Q. A defesa do copernicanismo teve papel central nas condenações de Galileu? Física na Escola, v. 14, n. 2, 2016.
	MORAIS, A. M. A. Gravitação & cosmologia: uma introdução. Livraria da Física, 1ª ed., São Paulo, 2009.
	MILNITSKY, R. MACHADO, Y. GURGEL, I. Quem está no Centro? Um confronto epistemológico entre as visões de mundo geocêntrica e heliocêntrica. Atas do XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2015.
	PINTO, T. RAPOSO, W. Discutindo história e filosofia da ciência e a natureza da ciência no laboratório didático de física: o caso Galileu e a queda dos corpos. Atas do XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Uberlândia, MG, 2015.
	PORTO, C. M., PORTO, M. B. D. S. M. A evolução do pensamento cosmológico e o nascimento da ciência moderna. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 4, 2008.
	VILLAMIL, M. B. El momento del peso em el equilibrio mecânico de Galileo Galilei. Atas do XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Uberlândia, MG, 2015.
As órbitas elípticas de Johannes Kepler	CHERMAN, A. MENDONÇA, B. R. Por que as coisas caem? Uma história da gravidade. Zahar, Rio de Janeiro, 2009.
	MORAIS, A. M. A. Gravitação & cosmologia: uma introdução. Livraria da Física, 1ª ed., São Paulo, 2010.
	HEWITT, P. G. Física Conceitual. Bookman Editora, 12ª Edição, 2015.
	PORTO, C. M. Panorama geral da obra astronômica de Kepler. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 3, 2015.
	PORTO, C. M., PORTO, M. B. D. S. M. A evolução do pensamento cosmológico e o nascimento da ciência moderna. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 4, 2008.
O desenvolvimento da Lei da Gravitação Universal	MORAIS, A. M. A. Gravitação & cosmologia: uma introdução. Livraria da Física, 1ª ed., São Paulo, 2009.
	CHERMAN, A. MENDONÇA, B. R. Por que as coisas caem? Uma história da gravidade. Zahar, Rio de Janeiro, 2009.
	HEWITT, P. G. Física Conceitual. Bookman Editora, 12ª Edição, 2015.
	PORTO, C. M., PORTO, M. B. D. S. M. A evolução do pensamento cosmológico e o nascimento da ciência moderna. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 4, 2008.

A seguir, será descrito como os textos didáticos foram elaborados, realizando uma junção do referencial teórico descrito no capítulo anterior, com a seleção do material para a fundamentação do tema.

2.2. A ELABORAÇÃO DOS TEXTOS

Conforme os objetivos já traçados, elaborou-se os textos didáticos sobre o conteúdo de Gravitação Universal, nos quais discutem este assunto a partir de uma abordagem histórica. A escolha da divisão dos assuntos dos textos elaborados é oriunda da Revisão Bibliográfica realizada e descrita na seção anterior. Foram escritos quatro textos, conforme título e assunto descritos na Tabela 04.

Tabela 04: Relação de Textos Elaborados

Texto	Descrição
Os primeiros modelos cosmológicos	Neste texto pretende-se descrever alguns modelos cosmológicos importantes nos quais tiveram alguma influência no desenvolvimento da Lei da Gravitação Universal. Além disso, tentou-se contextualizar a ciência conforme era a sociedade da Antiga Grécia, e descrever como eram realizados os estudos dos filósofos naturais. Este texto não tem como principal objetivo fazer com que o aluno entenda profundamente cada um dos modelos, mas sim que ele perceba as suas complexidades e que, mesmo assim, descreviam todas as observações e dados que se tinham na época.
A Revolução Heliocêntrica	Propõe-se discutir sobre a revolução heliocêntrica ocorrida no século XV com a publicação da Teoria Heliocêntrica de Nicolau Copérnico. Será falado sobre algumas questões referentes sobre filósofos naturais que, mesmo com as dificuldades impostas pela Igreja Católica, aderiram ao modelo copernicano e o aperfeiçoaram. O objetivo deste texto é mostrar a transição de um pensamento voltado totalmente para concepções religiosas para um pensamento revolucionário, mesmo que ainda com grande influências da Igreja.
As órbitas elípticas de Johannes Kepler	Serão discutidas como foram elaboradas as três Leis de Kepler através de um resgate da biografia de Joahannes Kepler. Neste texto também será comentado sobre a influência do astrônomo Tycho Brahe nas pesquisas de Kepler. O objetivo deste texto é

	apresentar as Leis de forma mais introdutória, e aprofundar o processo de construção histórica que elas passaram.
O desenvolvimento da Lei da Gravitação Universal	Foram discutidas algumas das principais influências para o desenvolvimento do trabalho de Isaac Newton, passando pelas hipóteses de Hooke e da importância de Halley. Fala-se também sobre as “falhas” das Lei da Gravitação Universal de Newton e que algumas dela só foram explicadas com chegada da Teoria da Relatividade Geral. Este texto tem como objetivo apresentar os conceitos que envolvem a Lei da Gravitação Universal, além de problematizar alguns dos “erros” encontrados nestes estudos.

Fonte: Dados da pesquisa

Tomou-se o cuidado para que essa abordagem histórica do conceito de gravidade não fosse apenas o nome de alguns cientistas famosos, algumas datas importantes e lendas e anedotas misturadas com um pouco de cronologia, conforme Martins (1990). Esse tipo de abordagem ajuda ainda mais a disseminar concepções distorcidas da Ciência para os estudantes (Pérez *et al.*, 2001). Por esse motivo, tentou-se seguir o processo da construção da Ciência e entender quais são as etapas que o conhecimento historiográfico passa, previstos no referencial teórico e descrito por Forato, Martins e Pietrocola (2011).

Tentou-se mostrar que a ciência não é fruto de pensamentos repentinos de grandes gênios. Muitas teorias aceitas atualmente passaram por uma construção confusa, com inúmeros erros e sem observações experimentais. A Ciência foi montada através de ideias que foram sendo melhoradas, com várias críticas e debates que, muitas vezes, modificaram totalmente o conceito inicial (MARTINS, 2006).

Procurou-se escrever os textos com uma linguagem mais simplificada e objetiva, por se tratar de um material de apoio voltado principalmente para os alunos do 1º ano do Ensino Médio. Também se levou em consideração o uso de figuras e imagens que ajudassem no entendimento do aluno e contextualizassem o que já está escrito. Para a construção de algumas figuras utilizou-se o *software Paint 3D*. Seguiu-se a ordem de conteúdos conforme a época, contexto e influência de cada filósofo natural e cientista citado.

2.3. A ELABORAÇÃO DAS PROPOSTAS DIDÁTICAS

Conforme descrito no referencial teórico, também é necessário o uso de algumas estratégias diferenciadas para ajudar a criar novas concepções de como se deu a construção do conhecimento científico, conforme Martins (2006). São elas: (1) Conhecer cada uma dessas visões, (2) demonstrar interesse nas opiniões dos alunos e não ridicularizá-las, (3) entender que, como professor, tem-se um papel transformador para o indivíduo, sendo capaz de mudar algumas das concepções presentes nos estudantes, (4) comparar essas visões com as que são aceitas atualmente e (5) analisar os prós e contras de cada uma delas.

Seguindo essas estratégias, decidiu-se elaborar algumas propostas para serem trabalhadas junto com os textos. Algumas dessas propostas surgiram de experiências docentes com uma turma de 1º ano do Ensino Médio, na qual foi abordado esse conteúdo, previsto no currículo da disciplina de Física. Outras, foram a partir de artigos que traziam diferentes abordagem para este conteúdo.

Um das propostas apresentadas, foram perguntas para serem discutidas e respondidas junto com os alunos, nas quais trabalham, por sua maioria, as concepções distorcidas da Ciência e outras uma ajuda no entendimento dos conceitos apresentados. Deixa-se claro que, essas perguntas não possuem suas respectivas respostas dentro de cada texto elaborado. Por esse motivo, é fundamental o papel do professor neste processo, ou seja, ele deve ser o responsável por mediar as discussões a ajudar os alunos a construir os conceitos e visões apresentadas de forma corretas.

Outro motivo para a elaboração destas perguntas é a extensão dos textos. Pelo fato de que, se forem abordados todos os conceitos e fatos históricos necessários, os textos elaborados acabariam se tornando inviáveis para serem trabalhados com alunos do Ensino Médio, visto que, teriam uma grande quantidade de páginas e assuntos para serem trabalhados junto com o professor, fugindo da proposta da utilização da História da Ciência como uma ferramenta de auxílio para o Ensino de Física (FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011). O objetivo destes textos é mostrar apenas os processos envolvidos para a construção do conhecimento científico, para facilitar a aprendizagem dos conceitos trabalhados e fazer com que o aluno perceba

que a Ciência não é fruto de um método científico infalível, como usualmente é descrito nos livros didáticos (OLIVEIRA, 2002; SILVA, TEIXEIRA, 2009).

É por esse motivo que o potencial dos textos elaborados não vem apenas da leitura deles, mas sim do que é possível realizar a partir disso. Dessa maneira, decidiu-se trazer diversas propostas que ajudam a complementá-los. Deixa-se claro que elas são sugestões para os professores trabalharem com seus alunos em sala de aula. Os docentes possuem total liberdade de acrescentar ou retirar perguntas, além de trabalhá-las da maneira que preferirem. Eles também podem ser lidos separadamente, ou em conjunto. Cabe ao professor organizar sua sequência didática da sua melhor maneira.

No próximo capítulo, serão apresentados os textos didáticos elaborados sobre a construção histórica sobre o conceito de gravidade, a partir da revisão bibliográfica e do referencial teórico descritos anteriormente, além das estratégias e sugestões para a aplicação desses textos em sala de aula em uma turma do 1º ano do Ensino Médio.

3. OS TEXTOS ELABORADOS

Neste capítulo serão apresentados os textos didáticos elaborados, conforme os objetivos traçados. Esses textos são o resultado de pesquisas que estão descritas nos capítulos 1 e 2 deste trabalho. Eles têm como principal objetivo mostrar como se deu a construção do conceito de gravidade ao longo da história, tornando fundamental o papel do professor no entendimento dos conceitos presentes.

Para uma melhor compreensão, listou-se os objetivos de cada um dos textos, ou seja, onde pretende-se chegar ele:

- No primeiro texto, tem-se como objetivo fazer com que o aluno entenda a complexidade dos modelos estudados na época e, mesmo assim, explicavam tudo o que era observado, além de sua relação com o conceito de gravidade de Newton. O estudante entender os conceitos físicos envolvidos em cada um dos modelos apresentados não é objetivo deste texto.
- Com o segundo texto, pretende-se mostrar a transição de um pensamento exclusivamente religioso, para um pensamento mais racional, mesmo que ainda com grandes influências da Igreja.
- O objetivo do terceiro texto é apresentar como as Leis de Kepler foram elaboradas a partir de todo o processo de construção histórica. Mesmo apresentando as conclusões que Kepler chegou em suas obras publicadas, o objetivo não é fazer com que o aluno entenda cada uma das Leis apenas com a leitura do texto.
- O quarto texto tem como objetivo descrever historicamente alguns conceitos que envolvem a Lei da Gravitação Universal e problematizar alguns erros encontrados na teoria de Newton.

Ao final de cada texto são apresentadas algumas sugestões para a aplicação deles em sala de aula. Essas propostas surgiram para complementar o que não é

trabalhado, direta ou indiretamente, no conjunto de textos, mas que se fazem necessárias conforme o referencial teórico apresentado. Lembrando que o potencial deste material não está apenas na leitura dele, mas sim em o que se pode fazer depois dela. Para isso, sugeriram-se algumas perguntas que podem ser feitas aos alunos em sala de aula para aprimorar o conhecimento trazido pela leitura e ajudar na disseminação de uma visão correta da construção do conhecimento científico, além de facilitar a compreensão de alguns conceitos que envolvem o conteúdo.

3.1. TEXTO 1: OS PRIMEIROS MODELOS COSMOLÓGICOS

Foi na Grécia antiga que o homem passou a interpretar os fatos e fenômenos naturais de maneira racional e também onde os primeiros conceitos científicos sobre gravidade surgiram. Os responsáveis por desenvolver as primeiras hipóteses sobre o assunto nesta época foram os filósofos pré-socráticos, ou seja, os que vieram antes de Sócrates (470-299 a.C.). Eles são chamados também de filósofos da natureza, pois estudavam como a matéria era constituída e como era feito o mundo.

Nessa época, começaram a surgir hipóteses a respeito da origem do universo, da criação das coisas e os primeiros modelos cosmológicos. Tales de Mileto (624-546 a.C.) é considerado o primeiro filósofo do mundo ocidental. Para ele, a água era o elemento que originou todas as coisas e também defendia que a Terra era plana, rodeada por um grande oceano! O primeiro modelo matemático foi o de Eudoxo de Cnido (408 – 355 a.C), com o modelo das esferas concêntricas no qual tenta explicar o movimento das corpos celestes.

Tales foi responsável por instigar outros pensadores da época a pensarem sobre o assunto, como Filolau de Crotona (meados dos séc. V a.C.), que era aprendiz de Pitágoras. Ele instituiu um dos primeiros sistemas cosmológicos importantes. Esse modelo consistia em um fogo central, que era chamado de a “casa de Zeus”, onde os demais astros, sendo o Sol, a Lua, a Terra e a anti-Terra giravam em órbitas circulares ao redor do fogo central, como na figura 1.

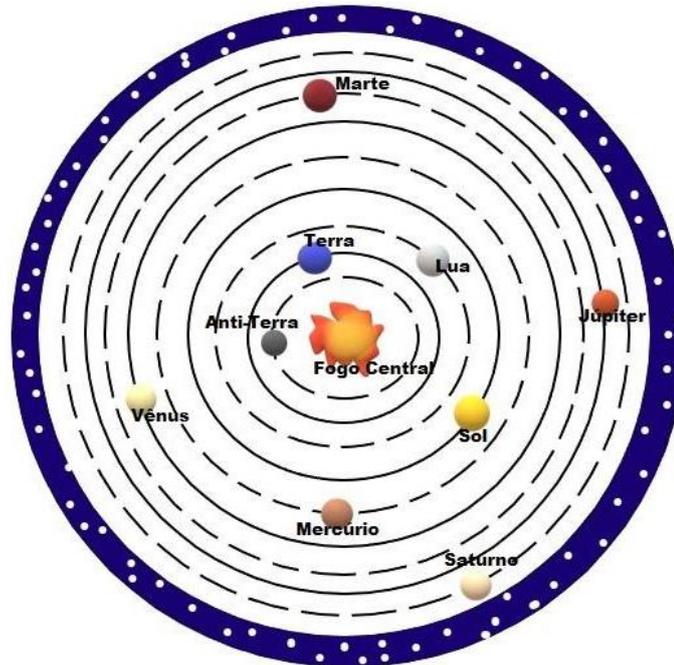


Figura 1: Universo Pirocêntrico de Filolau de Crotona

Fonte: Banco de dados do autor

Seguindo essas ideias, Aristocles de Atenas (427-347 a.C.), também conhecido como Platão, difundiu o modelo de Pitágoras e Filolau. Além disso, foi o responsável por discutir sobre o conceito de “corpos leves” e “corpos pesados”, onde surgiram os primórdios do conceito de gravidade. Todas essas questões foram aprimoradas pelo seu aprendiz Aristóteles de Estágira (384-322 a.C.), considerado hoje, a base da história da gravidade.

O modelo do cosmos para Aristóteles (figura 2) possuía a Terra imóvel e como o centro do universo, finito e esférico. Nosso planeta era circundado por esferas, onde estavam os outros astros. Depois da última esfera, que era representado pelas estrelas, havia o que ele chamava de “motor primordial”, que era responsável pelo movimento dessas esferas. Aristóteles também definiu o Universo em duas partes: supralunar e sublunar. Na parte sublunar prevalecia a física dos quatro elementos primordiais (terra, ar, fogo e água), definida por Empédocles de Agrigento (490-430 a.C.). A região além da lua seria formada por um quinto elemento, uma substância a qual ele denominou de éter.

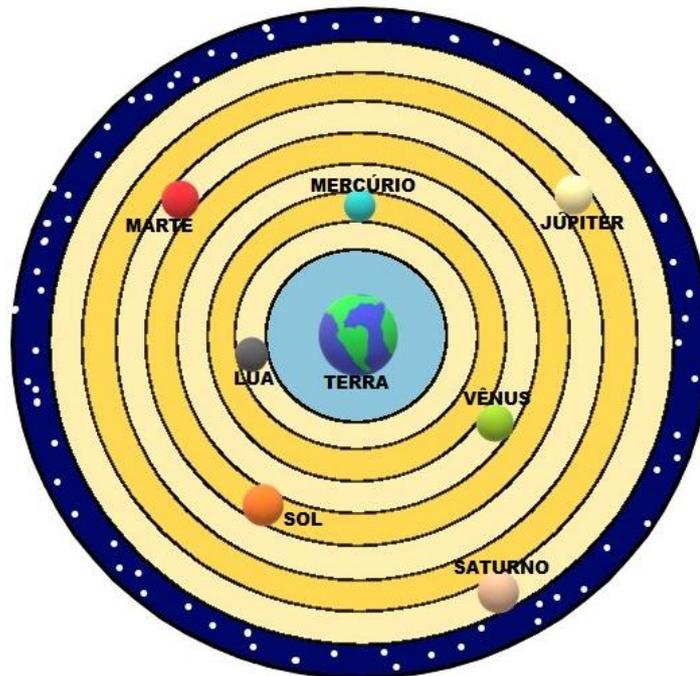


Figura 2: Universo Aristotélico – Modelo Geocêntrico

Fonte: Banco de dados do autor

Para Aristóteles, os corpos possuíam uma tendência de estar em certo lugar, chamado de “lugar natural”, causada pelo “movimento natural”. Havia também o “movimento violento”, que é qualquer outro movimento que não é natural. Aristóteles também definiu a ideia de peso e leveza, que seria uma característica intrínseca aos corpos e ela influenciaria diretamente no movimento natural dos objetos em queda. Ele também definiu os corpos leves e pesados: os corpos leves seriam, por exemplo, fogo e ar e sua queda seria “para cima”, enquanto os pesados seriam a terra e a água e sua queda seria “para baixo”.

Conforme eram coletados dados astronômicos, o modelo de Aristóteles passou a ficar cada vez mais complexo, necessitando de reformulações cada vez mais elaboradas e a inclusão de cada vez mais esferas celestes e inteligências motoras. Apolônio de Perga (261-196 a.C.) queria propor um modelo no qual explicava o movimento planetário ao longo de um ano terrestre, sem que o movimento circular deixasse de existir na região supralunar. Foi dessa maneira, então, que ele introduziu os deferentes e os epiciclos no modelo Aristotélico. Apolônio descartou as esferas celestes de Aristóteles, adicionando o deferente, círculo que representava a órbita do

planeta ao redor da Terra. Porém, o planeta não seguiria sua órbita, ele vagaria através dos epiciclos, outro círculo que possui seu centro no deferente.

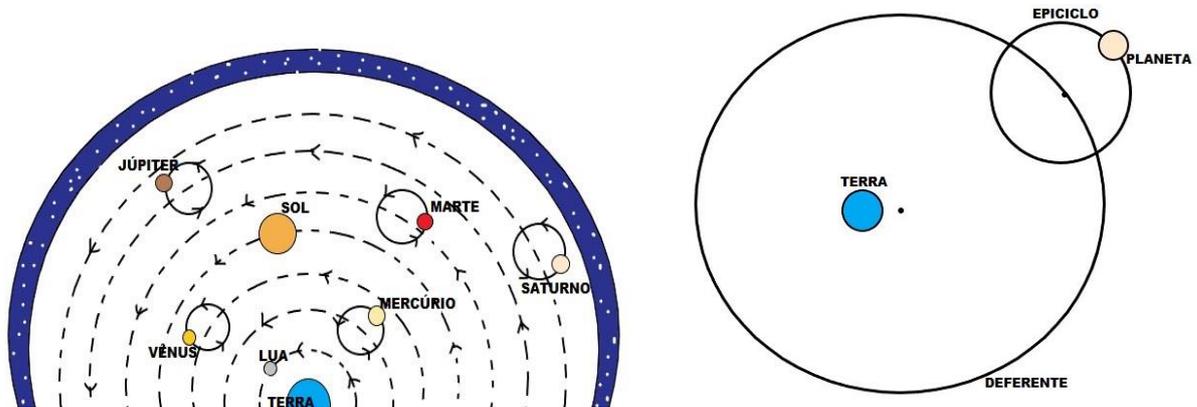


Figura 3: Modelo Ptolomaico – Epiciclos e Deferentes

Fonte: Banco de dados do autor

Apesar de seu modelo ter conseguido manter os círculos planetários com movimentos uniformes propostos por Aristóteles, ele não contemplava tudo que era observado no céu na época. Assim, o astrônomo alexandrino Cláudio Ptolomeu (90-168 d.C.) aperfeiçoou o modelo dos deferentes e epiciclos. Ele construiu um modelo cosmológico que abrangia todos os dados experimentais disponíveis na época. Para Ptolomeu, os planetas orbitavam entorno da Terra (deferente). Cada astro descrevia uma trajetória circular denominada epiciclo, que por sua vez girava entorno de um ponto do deferente, como mostrado na figura 3. Este modelo perdurou por quase quatorze séculos e foi adaptada de diversas maneiras para conciliar as crenças da Igreja Católica, até a chegada de um novo modelo que acabou gerando uma revolução, conhecida por Revolução Heliocêntrica.

3.2. TEXTO 2: A REVOLUÇÃO HELIOCÊNTRICA

A Idade Média começou nos anos 500 d.C., após a queda do Império Romano do Ocidente. O pensamento medieval ocidental acabou adotando o modelo de Universo de Aristóteles e Ptolomeu com algumas modificações, como: O Universo não era eterno mas possuía um criador divino; tinha a divisão entre céu e inferno e apenas

a Terra era plana. Porém, este decaimento do conhecimento científico ocorreu apenas no mundo ocidental - na Europa - enquanto no oriente, principalmente em Constantinopla, Síria e Pérsia, houve um desenvolvimento significativo da astronomia nessa época.

Os filósofos árabes aprimoraram ideias de filósofos da Antiguidade e criaram teorias de diversos assuntos da ciência, incluindo a gravidade. Um pensador importante dessa época foi Abu Rayhan al-Biruni (973-1048). Al-Biruni fez diversos questionamentos ao modelo cosmológico de Aristóteles. Um deles foi sobre a física da região sublunar, onde segundo Aristóteles, os corpos leves, como ar e fogo, se movem para longe do centro, e os objetos pesados, como terra e água, se movem para o centro da Terra. Ele desconsiderava a existência da leveza e falava que tudo iria para o centro, porém, os objetos mais pesados chegariam mais rápido.

Vale ressaltar que a importância dos trabalhos dos árabes não está somente nas teorias e avanços científicos, mas também na tradução e estudo de materiais da antiguidade. Se dependêssemos apenas da Europa ocidental, a maior parte do conhecimento adquirido até o momento teria sido destruído, por ser contra os ideais da Igreja Católica na época. Com o passar dos anos, o Império Islâmico se expandiu e com isso os filósofos árabes se tornaram uma ponte entre os conhecimentos gregos e os filósofos medievais da Europa ocidental, o que acarretou na abertura das primeiras universidades e incentivou o início da Revolução Científica, na Europa. Essa revolução do conhecimento teve uma duração de aproximadamente 150 anos, com a participação de nomes bem conhecidos nos dias de hoje, como Leonardo da Vinci (1452-1519) e Nicolau Copérnico (1473-1543).

Leonardo da Vinci, bastante influenciado pela física aristotélica, considerou novas possibilidades para o estudo do movimento dos corpos. Dizia que o quente e o frio era a causa do movimento dos elementos (terra, ar, água e fogo), onde todo o calor do universo provinha do Sol, sendo ele o principal causador dos movimentos. É dessa ideia que surge sua definição para gravidade: “gravidade é poder acidental, criado por movimento e infundido nos corpos que sobressaem de sua posição natural”. Leonardo da Vinci constrói uma relação entre peso e gravidade, o que ele chama de força. Para ele, força era um agente invisível, podendo ser como uma “energia espiritual”. Nesta definição, conseguimos perceber a ideia de ação à distância associada a gravidade.

Apesar de algumas relações estarem próximas das que conhecemos hoje, a teoria de Da Vinci não teve tanta repercussão. Boa parte de suas ideias foram trabalhadas mais tarde por outros filósofos naturais da época, sem a sua influência.

Copérnico propôs o modelo Heliocêntrico. Neste modelo o Sol não ocuparia o lugar exato do centro do Universo, mas sim um ponto não muito distante dele. Os planetas, por sua vez, orbitariam o centro do Universo, enquanto a lua giraria em torno da Terra. As estrelas ficariam fixas, na última esfera, pois ainda se tinha a ideia do Universo finito, como mostrado na figura 4. Um fato importante sobre sua teoria é que ainda existiam pontos que Copérnico não conseguia explicar, como a diferente velocidade nas órbitas dos planetas (explicado por Johannes Kepler anos depois). Para isso, ele inseriu diversos círculos (parecidos com os epiciclos teorizados por Ptolomeu) para explicar esse movimento, deixando-os mais complexos e tão preciso quanto o modelo ptolomaico.

Apesar disso, o modelo heliocêntrico de Copérnico teve bastante repercussão na sociedade da época. Um exemplo disso foi o astrônomo e matemático Thomas Digges (1543-1595), que estudou a obra de Copérnico e adicionou uma nova visão para o modelo. Retirou a esfera das estrelas, que indicavam o limite do universo e colocou-as em um espaço infinito.

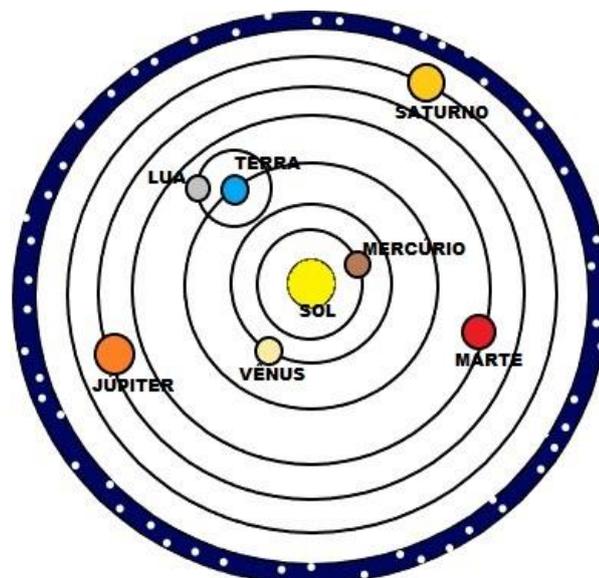


Figura 4: Universo Copernicano – Modelo Heliocêntrico

Fonte: Banco de dados do autor

Outro defensor importante do Heliocentrismo foi Galileu Galilei (1564-1642). Suas observações astronômicas utilizando a luneta fortaleceram o modelo

copernicano. Algumas dessas observações foram as fases de Vênus, que passava a ideia de que a Terra estava em movimento, e os satélites de Júpiter, mostrando que havia astros que não giravam entorno de um referencial privilegiado.

Contudo, os conflitos com a igreja dificultaram os estudos de Galileu para o avanço da física, mas não impediram. Suas contribuições acabaram marcando a sociedade na época, o que o levou a ser acusado como herege pela Igreja Católica e condenado a prisão domiciliar até sua morte. Giordano Bruno (1548-1600) também teve importante participação nas manifestações a favor do modelo heliocêntrico. Para ele, o Universo não possuía centro; o centro estava em todos os lugares, expandindo a ideia do Universo infinito. Bruno foi condenado por heresia e queimado na fogueira.

Essa revolução foi uma das causas para a desvinculação da Igreja Católica com a ciência, facilitando o surgimento de novas ideias e pensamentos e o começo do retorno do avanço científico na Europa.

3.3. TEXTO 3: AS ÓRBITAS ELÍPTICAS DE JOHANNES KEPLER

Johannes Kepler (1571 – 1630) sempre foi fascinado por astronomia desde que viu a passagem do cometa Halley, ainda quando criança. Aos 23 anos, Kepler foi chamado para lecionar Astronomia e Matemática na Universidade de Graz, na Áustria, desistindo de sua carreira de teólogo. Essa sua religiosidade teve bastante influência em suas obras.

Em 1595, Kepler teve uma ideia, provinda de seus estudos sobre Astronomia e Matemática, na qual lhe rendeu a publicação de sua primeira obra, intitulada “Mistério Cosmográfico”. Percebeu que na teoria de Copérnico havia mais do que o sistema Heliocêntrico, mas também o pronuncio de uma nova teoria capaz de descrever matematicamente a harmonia do Universo, que era seu objetivo principal. Influenciado por sua religiosidade, Kepler relacionava a estrutura do Universo aos estudos de Pitágoras e Platão, além do modelo copernicano, como na figura 5. Apesar de sua primeira obra não ter grande valor científico, ela serviu para plantar as primeiras sementes que vimos florescer anos mais tarde em suas obras.

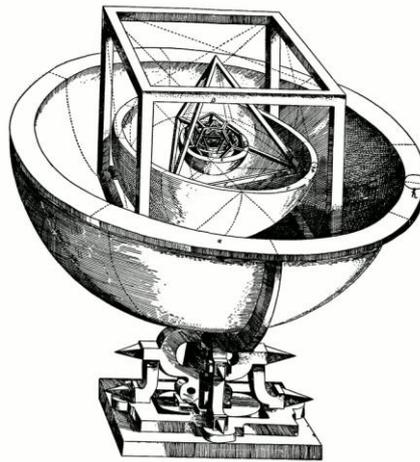


Figura 5: Modelo Cosmológico de Kepler da obra “Mistério Cosmográfico”, de 1595.

Fonte: Johannes Kepler, 1595.

Kepler enviou uma cópia de sua obra para Galileu e Tycho Brahe. Galileu não se importou muito com a obra, porém Brahe o chamou para ser seu assistente em 1599. Tycho Brahe era um astrônomo e possuía uma grande quantidade de dados astronômicos muito precisos para a época, porém não forneceu praticamente nada a Kepler. Depois de muita insistência e vendo sua habilidade com a matemática e astronomia, Brahe acabou cedendo os dados obtidos da órbita de Marte, na qual vários astrônomos haviam tentado resolver seu problema, e Kepler disse que a resolveria em oito dias.

Passaram-se vários anos, e não apenas dias, para ele conseguir resolver o problema da órbita de Marte. Nesse meio tempo, Tycho Brahe acabou falecendo e Kepler assumiu sua posição. Foi estudando a órbita de Marte que começaram a surgir ideias das órbitas serem elípticas e não círculos perfeitos, além da diferença da velocidade em certos pontos das órbitas.

Sua segunda obra foi escrita entre 1600 e 1606, porém só foi publicada em 1609, intitulada “Astronomia Nova”. Ela era dividida em cinco partes nas quais falavam sobre toda a trajetória descrita pelo autor até chegar nos resultados encontrados. Era uma obra completa, onde até os erros encontrados por Kepler em suas pesquisas foram registrados.

Na quarta parte da obra, Kepler fala sobre as órbitas planetárias, concluindo que elas são elípticas - mostrado de forma exagerada na figura 6 - e que o Sol ocuparia

um dos focos da elipse. Essa é a primeira lei dos movimentos planetários de Kepler. A inclusão de órbitas elípticas na descrição dos movimentos planetários tornou mais precisa a conciliação dos dados observacionais com a teoria heliocêntrica, eliminando definitivamente a necessidade dos deferentes e epiciclos.

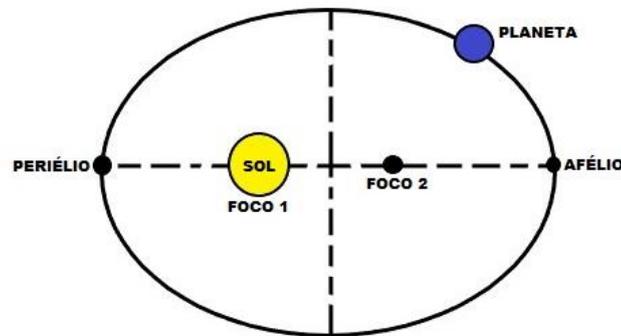


Figura 6: Órbita Elíptica – figura fora de escala

Fonte: Banco de dados do autor

Nesta mesma parte da obra, Kepler também postula sua segunda lei a partir de estudos nos quais mostravam que os planetas não percorriam toda a trajetória da sua órbita na mesma velocidade. As três áreas indicadas na figura 7 têm o mesmo tamanho, e o tempo para percorrer cada uma delas também é o mesmo; portanto, nos leva a concluir que o movimento não é uniforme: a velocidade muda a cada instante.

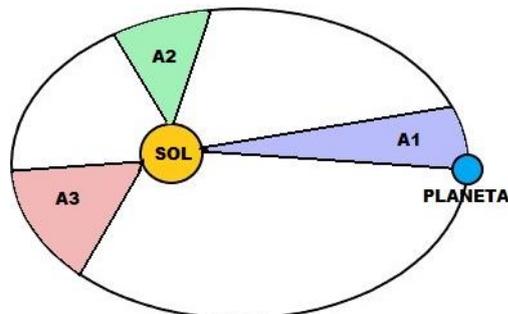


Figura 7: Lei das Áreas – figura fora de escala.

Fonte: Banco de Dados do Autor

Conforme descrito em sua obra, o planeta possui uma velocidade maior quando está no ponto mais próximo do Sol, chamado de periélio e, conseqüentemente, uma velocidade menor quando está mais afastado, ou seja, no afélio. Esta lei mostra uma relação de proporção entre a área varrida pelo planeta em um determinado período. Matematicamente, pode ser descrita pela equação:

$$\frac{A_1}{T_1} = \frac{A_2}{T_2} = \frac{A_3}{T_3}$$

Com o objetivo de encontrar a harmonia do Universo, Kepler, após mais alguns anos de estudo, finalmente conseguiu achá-la através de uma equação matemática que descreve as órbitas de todos os planetas. A sua terceira lei foi postulada em seu outro livro, intitulado “Harmonia do Mundo” e publicado em 1619. Esta lei teve grande importância para, mais tarde, Newton desenvolver a Lei da Gravitação Universal. Ela dizia que a razão entre o quadrado do período de translação do planeta e o cubo de sua distância média até o Sol é constante para todos os planetas, conforme a equação:

$$\frac{T^2}{r^3} = \text{constante}$$

onde T é o período de revolução do planeta e r é o raio médio da órbita. Neste livro, Kepler escreveu: “Descobri entre os movimentos celestes a natureza plena da harmonia”. Toda sua pesquisa resultou no que hoje conhecemos como leis de Kepler.

3.4. TEXTO 4: O DESENVOLVIMENTO DA LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

No desenvolvimento da Lei da Gravitação Universal, há vários trabalhos que influenciaram na obra “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural” de Newton, como os de Robert Hooke (1635–1702). Entre 1662 e 1664, Robert Hooke tentou provar experimentalmente que a força exercida pela Terra sobre qualquer corpo variava com a altura. Apesar de seus esforços, não conseguiu detectar nenhuma variação nos valores medidos. Em 1674, Hooke publicou uma obra chamada “Tentativa de demonstrar o movimento da Terra”, onde escreveu umas conclusões interessantes:

- Todos os corpos celestes possuem uma força gravitacional em direção aos seus centros, onde não atraem a si próprios, mas atraem outros corpos celestes;
- Todos os corpos que estejam em um movimento uniforme, continuarão em linha reta até que uma força os desvie para um movimento elíptico ou circular;

- Quanto menor a distância, maior será essa força atrativa.

Christian Huygens se interessou pelas pesquisas de Hooke e começou a estudar essas questões. Em 1673, ele publica um livro chamado “*Hologium Oscillatorium sive de motu pendulorum*”, onde Huygens demonstra qual o valor dessa força, a partir da Terceira Lei de Kepler. A partir dessa dedução, ele percebeu que a força é inversamente proporcional ao quadrado da distância.

Em 1661, Isaac Newton (1643 – 1727) foi admitido no Trinity College, em Cambridge, onde estudou o universo aristotélico e as ideias revolucionárias vindas do continente europeu. Porém, em 1665, com a peste bubônica, a universidade foi fechada e Newton teve que voltar para sua casa, onde trabalhou sozinho por vários anos e começou a desenvolver suas principais contribuições na óptica, mecânica e matemática.

Em 1684, Newton recebe a visita de Edmond Halley, onde ele pergunta qual seria a órbita de um planeta que se movesse sob ação de uma força de atração com origem no Sol e que variasse com o inverso do quadrado da distância. Newton, já tendo estudado sobre o assunto, respondeu que seria uma elipse. A partir dessa resposta, Halley fez com que Newton escrevesse este resultado e o mandasse o mais rápido possível. Assim, Newton começou a lançar algumas ideias de uma teoria que explicasse o movimento dos planetas; estabeleceu que a atração gravitacional atua em todos os corpos do universo e concluiu que o Sol não pode estar em repouso; estabeleceu que a Terra não era perfeitamente redonda e calculou o achatamento da Terra conforme a variação gravitacional e a latitude, que ocasiona o fenômeno das marés.

Newton publica todos esses seus estudos de movimento dos corpos e suas causas em 1687, na obra “Princípios Matemáticos de Filosofia Natural”. Para ele, a força gravitacional era a força atrativa (figura 8) e dominante no universo, responsável pelo nascimento das estrelas e movimento dos planetas, cometas e satélites nos sistemas planetários.

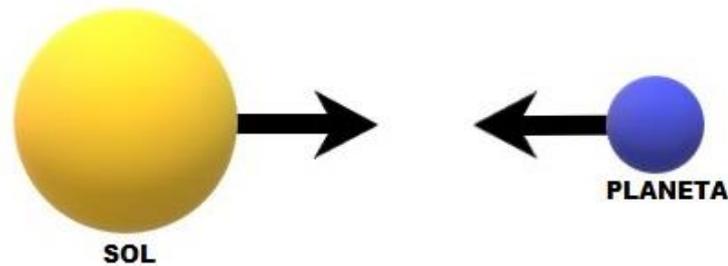


Figura 8: Força de Atração Gravitacional – figura fora de escala

Fonte: Banco de dados do autor

Depois do trabalho fundamental efetuado por Newton, surge o universo conhecido como Universo Newtoniano, governado por leis e equações quantitativas da natureza. Porém, conforme evoluíam as medidas dentro do sistema solar, os problemas com a Lei da Gravitação Universal de Newton começaram a surgir. Um exemplo interessante para este problema é o avanço do periélio de Mercúrio. As Leis de Kepler só são válidas se contarmos os efeitos dos dois corpos que estão sendo analisados e desprezarmos todos os outros. Como não existem apenas dois corpos no nosso sistema solar, há uma diferença chamada de precessão, que é quando o periélio da órbita de um determinado planeta sofre um avanço (Figura 9).

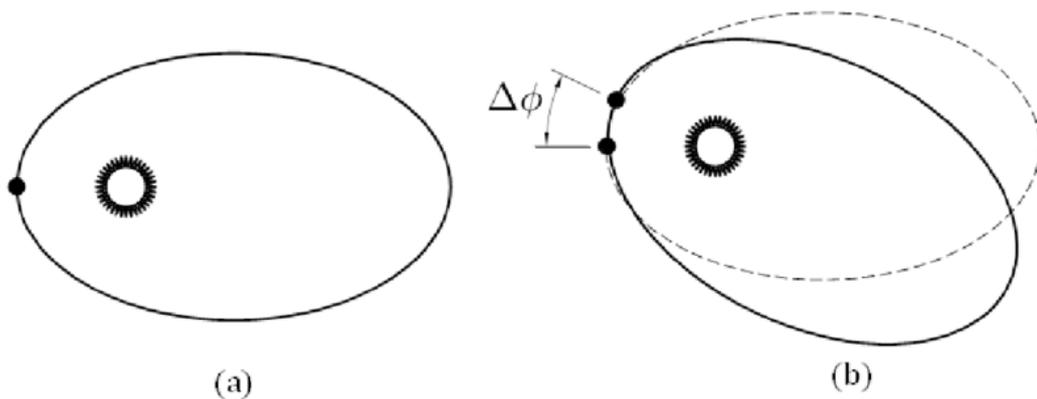


Figura 9: Precessão do Periélio de Mercúrio

Fonte: Morais, 2009

O valor calculado por Newton, da precessão do periélio de Mercúrio, difere do valor observado e só explicado com a chegada da Teoria da Relatividade Geral de Einstein. Além disso, a teoria da relatividade explicava uma série de outros fenômenos

gravitacionais como o desvio de raios luminosos causados pela gravidade, mas ela ainda não explicava a aceleração secular nos satélites de Marte e as oscilações do movimento da Lua.

Apesar dos avanços no estudo da gravidade, há muitos fenômenos no próprio sistema solar ainda sem explicação até os dias de hoje, portanto, concluímos que o conhecimento dos movimentos celestes ainda não está completado.

3.5. SUGESTÕES PARA APLICAÇÃO DOS TEXTOS

Retomando alguns aspectos retratados na fundamentação teórica deste trabalho, em especial sobre as visões distorcidas da Ciência que os estudantes comumente possuem, pensou-se em algumas estratégias para aplicação dos textos elaborados que ajudam a contemplar essas visões. A estratégia tomada foi a construção de questões que, através de debates em sala de aula, pudessem mostrar alguns aspectos referentes a construção do conceito de gravidade, para facilitar o entendimento do conceito “final” a ser trabalhado.

As tabelas abaixo exemplificam melhor como algumas das concepções da ciências podem ser trabalhadas em sala de aula através de debates. Deixa-se claro que as respostas para essas perguntas não podem ser respondidas com a simples leitura dos textos que foram elaborados, tornando imprescindível o papel do professor durante essas aulas. O tempo didático para a aplicação deles não está pré-determinada visto que, estes textos são uma ferramenta para ajudar na compreensão de um determinado conceito e não abordam tudo que é necessário contemplar a respeito deste conteúdo.

A tabela 5 são perguntas referentes ao texto 1 “Os Primeiros Modelos Cosmológicos”.

Tabela 05: Questões para discussão referentes ao texto 1 conforme justificativa

Questões para discussão referentes ao texto 1	Propósito da discussão
Como os filósofos naturais passaram a interpretar os fenômenos naturais de maneira racional? Quais eram seus objetivos?	A resposta para essa discussão está no primeiro parágrafo do texto. Mas, é válido aprofundar essa temática, uma vez que ajuda a perceber o pensamento e a formação da sociedade na Grécia Antiga, possibilitando que o estudante perceba que a ciência não é neutra e ahistórica.

Podemos relacionar a ideia dos corpos leves e pesados, e a tendência ao lugar natural, com o conceito de gravidade de Newton? Justifique.	Para responder a essa questão, é necessário trabalhar um pouco do conceito de gravidade de Newton. Essa pergunta se torna importante ao ver como um conceito se modifica ao longo do tempo, e ajuda o aluno a entender essas diferenças, facilitando a compreensão do conceito que se deseja trabalhar.
Por que o modelo de Ptolomeu perdurou por tanto tempo?	Esta questão tem como objetivo trabalhar a contextualização da sociedade logo após o período da Antiguidade. É válido introduzir ela junto com a questão 4: como algo tão “absurdo” conforme o conceito de gravidade de Newton, pode ter sido aceito por tanto tempo?
Pensando no conceito de gravidade descrito por Newton, seria possível um planeta orbitar no seu epiciclo, como na figura 3? Justifique.	Como na questão 2, nesta também é necessário discutir um pouco do conceito de gravidade de Newton. Ela também ajuda a compreender melhor a Lei da Gravitação Universal e suas implicações físicas.
Como eram realizadas as medidas obtidas e os dados astronômicos na época?	Esta resposta exige uma pesquisa fora dos textos. Pelo fato de não haver instrumentos de medida precisos, havia muitos erros experimentais. Isso também explica a resposta da questão 3, de porquê o modelo de Ptolomeu foi aceito por tanto tempo.

Fonte: Dados da pesquisa

A tabela 6 são perguntas relacionadas ao texto 2 “ A Revolução Científica”. Na aplicação deste texto é interessante que o professor não trabalhe apenas os modelos envolvidos, mas também o embate histórico entre eles (Heliocentrismo e Geocentrismo).

Tabela 06: Questões para discussão referentes ao texto 2 conforme justificativa

Questões para discussão referentes ao texto 2	Propósito da discussão
Qual foi a influência dos filósofos naturais árabes na Revolução Científica da Europa?	Com objetivo de mostrar que a estagnação científica ocorreu apenas na Europa, que estava sob as leis da Igreja Católica, e mostrar que o restante do mundo continuou funcionando normalmente, esta pergunta serve para mostrar ao aluno que não existem apenas os filósofos naturais famosos e que sempre ouvimos falar. Existem vários que ajudaram a contribuir para a evolução do conceito de gravidade.
Após a queda do Império Romano do Ocidente, teve-se um longo período de estagnação científica na Europa. Neste período não houve nenhuma nova teoria ou modelo de Universo na Europa? Se sim, cite-o.	Esta questão exige um aprofundamento do primeiro parágrafo do texto. Ela tem como objetivo mostrar que a Ciência se molda conforme as influências sociais e culturais de cada período. Tivemos sim algumas teorias, mas todas se voltaram a princípios bíblicos e religiosos. Um modelo de universo deste período é mostrado na obra “A Divina Comédia” de Dante Alighieri, pertencente a São Tomás de Aquino.
O Modelo Copernicano era mais completo, ou seja, explicava mais fenômenos e possuía menos erros do que o Ptolomaico? Comente sobre.	Esta questão tenta mostrar ao aluno que nem sempre novas teorias explicam mais fenômenos com menos erros do que as anteriores. No caso do Modelo Copernicano, a principal diferença é a mudança de referencial, por assim dizer: ao

	invés da Terra estar parada, agora é o Sol. Ele abrangia a mesma quantidade de dados do que o Ptolomaico.
Qual foi a principal importância do Modelo Copernicano?	Seguindo a sequência da pergunta anterior: se o modelo copernicano não era mais preciso que o Ptolomaico, por que ele teve tanta importância e repercutiu tanto na sociedade? Essa questão serve como uma reflexão para mostrar ao aluno que a Ciência não é acumulativa e possui uma construção complexa.

Fonte: Dados da pesquisa

Na tabela 7, há questões referentes ao texto 3 “As órbitas elípticas de Kepler”. Para trabalhar este assunto são necessárias aulas que reforcem as Leis de Kepler e que trabalhem com a excentricidade das órbitas dos planetas, pois é comum vermos os alunos pensarem que as órbitas são absurdamente exageradas, como nas figuras mostradas para fins didáticos. Gregorcic (2015), com a ajuda do *software Algodoo*, explorou todas as Leis de Kepler a partir de simulações expositivas que também trabalhavam com a excentricidade das órbitas.

Há também alguns experimentos que podem ser feitos para trabalhar as Leis de Kepler, como mostra Canassa *et. al.* (2019). Eles dissertam sobre um experimento feito com o *software Tracker*, no qual, através da filmagem do movimento de um pêndulo, visto de baixo, conseguem chegar à relação matemática da Lei das Áreas.

Para trabalhar o tópico de Leis de Kepler, também podem ser realizados alguns experimentos. Outra proposta interessante foi feita também por Gregorcic (2015), onde, com a ajuda do *software Algodoo* explorou todas as Leis de Kepler a partir de simulações expositivas.

Tabela 07: Questões para discussão referentes ao texto 3 conforme justificativa

Questões para discussão referentes ao texto 3	Propósito da discussão
Por que a órbita de Marte era tão complexa?	Esta questão tem como objetivo, além do aprofundamento do assunto, fazer com que o aluno perceba as dificuldades que os pesquisadores tinham, e ainda têm, em resolver problemas e propor teorias. Isso tira a ideia de que a ciência é elitista e que apenas grandes gênios a construíram sem nenhuma dificuldade.
Qual é o principal problema do modelo de Johannes Kepler?	Trabalhando as “falhas” dos modelos e teorias podemos fazer com que a ciência não possui uma verdade absoluta e pode ser modificada muitas vezes, conforme o aprimoramento de tecnologias, questões sociais, políticas e culturais.

Como a sua religiosidade influenciou nos estudos?	Essa questão ajuda a perceber que a ciência não é neutra e possui influências externas significativas. Ela requer uma leitura mais aprofundada do texto para perceber os pontos em que a religiosidade de Kepler influenciou em seus estudos.
No texto, discute-se que os dados fornecidos por Brahe tiveram uma grande importância na produção científica de Kepler. Como Brahe obtia dados tão precisos para a época?	Da mesma maneira que a questão 5 do primeiro texto, essa também exige uma pesquisa fora do texto. Esta questão também ajuda a perceber como Kepler chegou na conclusão de que as órbitas eram elípticas e possuíam diferentes velocidades em cada ponto da órbita.

Fonte: Dados da pesquisa

Na tabela 8, são mostradas as perguntas elaboradas para a aplicação do texto 4, “A elaboração da Lei da Gravitação Universal”. Como nos outros, este também não contempla tudo que é necessário que o aluno saiba a respeito do conteúdo, tornando necessário aulas que trabalhem e problematizem os conceitos físicos envolvidos na Lei da Gravitação Universal.

Tabela 08: Questões para discussão referentes ao texto 4 conforme justificativa

Questões para discussão referentes ao texto 4	Propósito da discussão
Por que Hooke não conseguiu encontrar diferenças nos valores medidos, em seus experimentos, conforme a altura, se a força gravitacional varia com a distância?	Essa questão tem como objetivo trabalhar o conceito de gravidade de Newton de forma diferenciada. Mesmo Hooke não conseguindo chegar em resultados palpáveis, conseguiu formular algumas hipóteses sobre o conceito estudado.
Hooke e Huygens já possuíam várias hipóteses a respeito da força atrativa (que mais tarde se chamaria gravidade). Quais foram as “novidades” trazidas por Newton a respeito desse conceito?	Newton não é o responsável pela construção de todo o conceito de gravidade. Várias pessoas haviam chegado em algumas conclusões que, posteriormente, Newton utilizou-as para elaborar a Lei da Gravitação Universal. Isso traz uma ideia de que a ciência não é elitista.
Ao final do texto, fala-se que ainda existem algumas questões não respondidas, do próprio sistema solar, e que não possuem explicações. Quais são elas? Por que ainda não se conseguiu explicá-las?	Essa pergunta possui o objetivo de mostrar que a ciência não é uma verdade absoluta e que ela se modifica a todo mundo, ela não está finalizada.
Com a chegada da Teoria da Relatividade Geral, houve inúmeras modificações no que se diz respeito ao conceito de gravidade. Isto torna a Lei da Gravitação Universal de Newton inválida? Justifique.	Não é só porque novas teorias vieram que as outras serão descartadas. A Mecânica Clássica ainda é muito utilizada para diversas ocasiões, e esta pergunta tem o objetivo de trazer essa percepção ao aluno. Não é só porque hoje existe a Física Moderna, que a Clássica foi descartada.

Fonte: Dados da pesquisa

Essas perguntas estarão disponíveis junto com os textos, em anexo, ao final de cada um deles para servirem como uma proposta de aplicação. Salienta-se que o professor possui liberdade para acrescentar ou retirar questões, como também trabalha-las do jeito que achar melhor. O objetivo desta seção não é mostrar uma sequência didática pronta para o professor, mas sim apresentar algumas possibilidades que podem ser trabalhadas com os estudantes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos objetivos deste trabalho, de realizar uma revisão bibliográfica acerca do tema da história do conceito de gravidade e elaborar textos didáticos para professores e alunos sobre tal conteúdo, percebe-se a importância de uma pesquisa bem fundamentada para definir conteúdos e traçar estratégias, sobre um assunto específico. Por este motivo, seria interessante que pesquisadores da área dessem este suporte para abordar História da Ciência. Porém, conforme Martins (2006) há uma falta de professores com formação adequada para fazerem pesquisas na área de forma correta, dificultando ainda mais este tipo de abordagem.

Neste trabalho, procurou-se realizar uma pesquisa em diversas revistas, livros e atas de evento para ter uma boa fundamentação para a elaboração dos textos, para também respeitar as visões corretas da construção do conhecimento científico, citadas por Pérez *et. al* (2001). Segundo Martins (2006), o estudo detalhado e correto dos episódios históricos é insubstituível na formação de uma visão adequada. Infelizmente, com as condições de trabalho atual de professores da rede básica de educação, ou seja, turmas com alto número de alunos, carga horária extensa e falta de valorização do profissional, esta prática torna-se inviável.

Dessa maneira, percebe-se a importância do pesquisador nesta área do Ensino de Física. É necessário que ele, além de realizar pesquisas bem fundamentadas, também produza materiais didáticos que podem ser utilizados por professores da Educação Básica. Porém, segundo Pena e Filho (2008), essas pesquisas não chegam para a sala de aula, e os poucos materiais adequados que são produzidos, também não. Assim, cabe ao professor o interesse pela busca dessas ferramentas que podem facilitar a sua prática, além da necessidade de uma formação continuada que trabalhe essas questões.

Os textos didáticos apresentados servem com um apoio para o professor e o aluno construírem os conceitos a serem trabalhados de forma histórica. Deixa-se claro que este material não tira a importância do papel do professor em sala de aula, mas

sim cria possibilidades de trabalhar história da ciência em aulas de Física. Vale ressaltar que é importante que o professor expanda o conhecimento apresentados nos textos para aumentar seu potencial de aprendizagem. Pelo fato de haver um baixo número de materiais adequados sobre História da Ciência, pretende-se continuar esta pesquisa a partir de uma ampliação da revisão bibliográfica para que seja trabalhada, neste conjunto de textos, a Teoria da Relatividade Geral e como se deu o seu desenvolvimento. Também se pretende aplicar estes textos em sala de aula, e verificar a aprendizagem dos alunos através deles, para então aprimorá-los.

Por fim, destaca-se novamente a importância de uma abordagem de qualidade da História e Filosofia da Ciência e como ela pode contribuir de forma positiva no desenvolvimento e na aprendizagem do estudante.

5. REFERÊNCIAS

CANASSA, T. A. *et. al.* **Spherical pendulum as an analogy to Kepler's second law.** *Physics Education*, 55 015002, 2019.

CHERMAN, A. MENDONÇA, B. R. **Por que as coisas caem? Uma história da gravidade.** Zahar, Rio de Janeiro, 2009.

CORCETTI, N. T., VERASZTO, E. V. **Aristóteles, uma porta aberta para o mundo da ciência.** Atas do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Carlos, SP 2017.

CORCETTI, N. T., VERASZTO, E. V. **Contribuições de Galileu Galilei para a evolução do conhecimento científico e suas implicações no ensino de física. São Carlos, SP** Atas do XXIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Salvador, BA, 2019.

CORCETTI, N. T., VERASZTO, E. V. **História da ciência: o modelo heliocêntrico de Copérnico e suas contribuições para o ensino de física.** Atas do XXIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, Salvador, BA, 2019.

CORCETTI, N. T., VERASZTO, E. V. **Um estudo da contribuição de Ptolomeu para a evolução do modelo geocêntrico a partir de uma perspectiva histórica.** Atas do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física, São Carlos, SP, 2017.

DAMASIO, F., PEDUZZI, L. O. Q. **A defesa do copernicanismo teve papel central nas condenações de Galileu?** *Física na Escola*, v. 14, n. 2, 2016.

FORATO, T. C. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. **A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula.** *Cad. Bras. Ens. Fís.*, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011.

GREGORCIC, B. **Exploring Kepler's law using na interactive whiteboard and Algodoo.** *Physics Education*, v. 50, n. 5, 2015.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual.** Bookman Editora, 12ª Edição, 2015.

MARTINS, A. F. P. **História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho.** *Caderno Brasileiro de Ensino de Física.* p. 112-131, 2007.

- MARTINS, R de A. Introdução: **A história da ciência e seus usos na educação**. In: SILVA, C. C. Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino. Editora Livraria da Física, p. 167-190, São Paulo, 2006.
- MARTINS, R de A. **Sobre o papel da ciência no ensino**. Boletim da Sociedade Brasileira da História da Ciência, p. 3-5,1990.
- MARTINS, R. de A. **Arquimedes e a coroa do rei: problemas históricos**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 17, n. 2, p. 115-121, 2000.
- MATTHEWS, M. R.; **História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.
- MILNITSKY, R. MACHADO, Y. GURGEL, I. **Quem está no Centro? Um confronto epistemológico entre as visões de mundo geocêntrica e heliocêntrica**. Atas do XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Uberlândia, MG, 2015.
- MORAIS, A. M. A. **Gravitação & cosmologia: uma introdução**. Livraria da Física, 1ª ed., São Paulo, 2009.
- MOURA, B. A., SILVA, C. C. **Uma abordagem multicontextual na história da ciência: uma proposta para o ensino de conteúdos históricos na formação de professores**. Revista Brasileira de História da Ciência, v. 7, n. 2, p. 336-348, Rio de Janeiro, 2014.
- OLIVEIRA, M. P. **A história e a epistemologia no ensino de ciência: dos processos aos modelos de realidade na educação científica**. In: ANDRADE, A. M. R. Ciência em Perspectiva. Estudos, Ensaios e Debates. Rio de Janeiro: MAST/SBHC, p. 133-149, 2002.
- PENA, F. L. A. FILHO, A. R. **Relação entre a pesquisa em ensino de física e a prática docente: dificuldades assinaladas pela literatura nacional da área**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 25, n. 3, p. 424-48, 2008.
- PÉREZ, D. G., *et. al.* **Para uma imagem não deformada do trabalho científico**. Ciência e Educação, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

PINTO, T. RAPOSO, W. **Discutindo história e filosofia da ciência e a natureza da ciência no laboratório didático de física: o caso Galileu e a queda dos corpos.** Atas do XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Uberlândia, MG, 2015.

PORTO, C. M. **A física de Aristóteles: uma construção ingênua?** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 4, 2009

PORTO, C. M. **Panorama geral da obra astronômica de Kepler.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 3, 2015.

PORTO, C. M., PORTO, M. B. D. S. M. **A evolução do pensamento cosmológico e o nascimento da ciência moderna.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 4, 2008.

SILVA, E. N., TEIXEIRA, R. R. P. **A História da Ciência nos Livros Didáticos de Física.** Revista Tecnologia e Tendências, v.8, n.1, p. 9-19. 2009.

SILVA, V. B. **O método Baconiano e o “Princípio da Geografia Geral” de Vidal de La Blache.** Revista Territorium Terram, v. 3, n. 5, 2015.

VELÁSQUEZ-TORIBIO, A. M., OLIVEIRA, M. V. **Primeiro modelo matemático da cosmologia: as esferas concêntricas de eudoxo.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, n. 2, 2019.

VILLAMIL, M. B. **El momento del peso em el equilibrio mecânico de Galileo Galilei.** Atas do XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Uberlândia, MG, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A

OS PRIMEIROS MODELOS COSMOLÓGICOS

Foi na Grécia antiga que o homem passou a interpretar os fatos e fenômenos naturais de maneira racional e também onde os primeiros conceitos científicos sobre gravidade surgiram. Os responsáveis por desenvolver as primeiras hipóteses sobre o assunto nesta época foram os filósofos pré-socráticos, ou seja, os que vieram antes de Sócrates (470-299 a.C.). Eles são chamados também de filósofos da natureza, pois estudavam como a matéria era constituída e como era feito o mundo.

Nessa época, começaram a surgir hipóteses a respeito da origem do universo, da criação das coisas e os primeiros modelos cosmológicos. Tales de Mileto (624-546 a.C.) é considerado o primeiro filósofo do mundo ocidental. Para ele, a água era o elemento que originou todas as coisas e também defendia que a Terra era plana, rodeada por um grande oceano! O primeiro modelo matemático foi o de Eudoxo de Cnido (408 – 355 a.C), com o modelo das esferas concêntricas no qual tenta explicar o movimento das corpos celestes.

Tales foi responsável por instigar outros pensadores da época a pensarem sobre o assunto, como Filolau de Crotona (meados dos séc. V a.C.), que era aprendiz de Pitágoras. Ele instituiu um dos primeiros sistemas cosmológicos importantes. Esse modelo consistia em um fogo central, que era chamado de a “casa de Zeus”, onde os demais astros, sendo o Sol, a Lua, a Terra e a anti-Terra giravam em órbitas circulares ao redor do fogo central, como na figura 1.

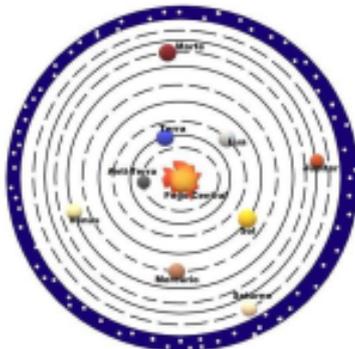


Figura 1: Universo Pirocêntrico de Filolau de Crotona
Fonte: Banco de dados do autor

Seguindo essas ideias, Aristóteles de Atenas (427-347 a.C.), também conhecido como Platão, difundiu o modelo de Pitágoras e Filolau. Além disso, foi o responsável por discutir sobre o conceito de “corpos leves” e “corpos pesados”, onde surgiram os primórdios do conceito de gravidade. Todas essas questões foram aprimoradas pelo seu aprendiz Aristóteles de Estágira (384-322 a.C.), considerado hoje, a base da história da gravidade.

O modelo do cosmos para Aristóteles (figura 2) possuía a Terra imóvel e como o centro do universo, finito e esférico. Nosso planeta era circundado por esferas, onde estavam os outros astros. Depois da última esfera, que era representado pelas estrelas, havia o que ele chamava de

“motor primordial”, que era responsável pelo movimento dessas esferas. Aristóteles também definiu o Universo em duas partes: supralunar e sublunar. Na parte sublunar prevalecia a física dos quatro elementos primordiais (terra, ar, fogo e água), definida por Empédocles de Agrigento (490-430 a.C.). A região além da lua seria formada por um quinto elemento, uma substância a qual ele denominou de éter.



Figura 2: Universo Aristotélico – Modelo Geocêntrico
Fonte: Banco de dados do autor

Para Aristóteles, os corpos possuíam uma tendência de estar em certo lugar, chamado de “lugar natural”, causada pelo “movimento natural”. Havia também o “movimento violento”, que é qualquer outro movimento que não é natural. Aristóteles também definiu a ideia de peso e leveza, que seria uma característica intrínseca aos corpos e ela influenciaria diretamente no movimento natural dos objetos em queda. Ele também definiu os corpos leves e pesados: os corpos leves seriam, por exemplo, fogo e ar e sua queda seria “para cima”, enquanto os pesados seriam a terra e a água e sua queda seria “para baixo”.

Conforme eram coletados dados astronômicos, o modelo de Aristóteles passou a ficar cada vez mais complexo, necessitando de reformulações cada vez mais elaboradas e a inclusão de cada vez mais esferas celestes e inteligências motoras. Apolônio de Perga (261-196 a.C.) queria propor um modelo no qual explicava o movimento planetário ao longo de um ano terrestre, sem que o movimento circular deixasse de existir na região supralunar. Foi dessa maneira, então, que ele introduziu os deferentes e os epiciclos no modelo Aristotélico. Apolônio descartou as esferas celestes de Aristóteles, adicionando o deferente, círculo que representava a órbita do planeta ao redor da Terra. Porém, o planeta não seguia sua órbita, ele vagava através dos epiciclos, outro círculo que possui seu centro no deferente.

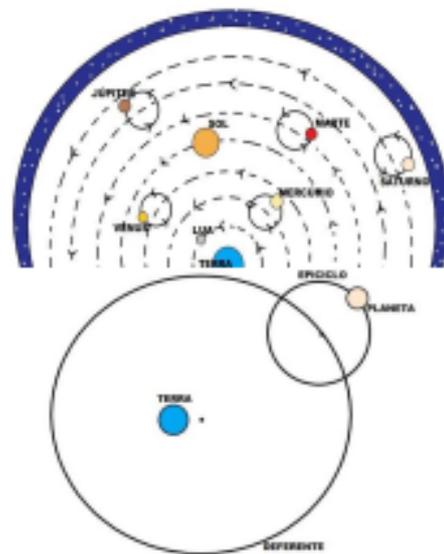


Figura 3: Modelo Ptolomaico – Epiciclos e Deferentes
Fonte: Banco de dados do autor

Apesar de seu modelo ter conseguido manter os círculos planetários com movimentos uniformes propostos por Aristóteles, ele não contemplava tudo que era observado no céu na época. Assim, o astrônomo alexandrino Cláudio Ptolomeu (90-168 d.C.) aperfeiçoou o modelo dos deferentes e epiciclos. Ele construiu um modelo cosmológico que abrangia todos os dados experimentais disponíveis na época. Para Ptolomeu, os planetas orbitavam entorno da Terra (deferente). Cada astro descrevia uma trajetória circular denominada epiciclo, que por sua vez girava entorno de um ponto do deferente, como mostrado na figura 3. Este modelo perdurou por quase quatorze séculos e foi adaptada de diversas maneiras para conciliar as crenças da Igreja Católica, até a chegada de um novo modelo que acabou gerando uma revolução, conhecida por Revolução Heliocêntrica.

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

1. Como os filósofos naturais passaram a interpretar os fenômenos naturais de maneira racional? Quais eram seus objetivos?
2. Podemos relacionar a ideia dos corpos leves e pesados, e a tendência ao lugar natural, com o conceito de gravidade de Newton? Justifique.
3. Por que o modelo de Ptolomeu perdurou por tanto tempo?

Pensando no conceito de gravidade descrito por Newton, seria possível um planeta orbitar no seu epiciclo, como na figura 3? Justifique.

4. Como eram realizadas as medidas obtidas e os dados astronômicos na época?

APÊNDICE B

A REVOLUÇÃO HELIOCÊNTRICA

A Idade Média começou nos anos 500 d.C., após a queda do Império Romano do Ocidente. O pensamento medieval ocidental acabou adotando o modelo de Universo de Aristóteles e Ptolomeu com algumas modificações, como: O Universo não era eterno mas possuía um criador divino; tinha a divisão entre céu e inferno e apenas a Terra era plana. Porém, este decaimento do conhecimento científico ocorreu apenas no mundo ocidental - na Europa - enquanto no oriente, principalmente em Constantinopla, Síria e Pérsia, houve um desenvolvimento significativo da astronomia nessa época.

Os filósofos árabes aprimoraram ideias de filósofos da Antiguidade e criaram teorias de diversos assuntos da ciência, incluindo a gravidade. Um pensador importante dessa época foi Abu Rayhan al-Biruni (973-1048). Al-Biruni fez diversos questionamentos ao modelo cosmológico de Aristóteles. Um deles foi sobre a física da região sublunar, onde segundo Aristóteles, os corpos leves, como ar e fogo, se movem para longe do centro, e os objetos pesados, como terra e água, se movem para o centro da Terra. Ele desconsiderava a existência da leveza e falava que tudo iria para o centro, porém, os objetos mais pesados chegariam mais rápido.

Vale ressaltar que a importância dos trabalhos dos árabes não está somente nas teorias e avanços científicos, mas também na tradução e estudo de materiais da antiguidade. Se dependêssemos apenas da Europa ocidental, a maior parte do conhecimento adquirido até o momento teria sido destruído, por ser contra os ideais da Igreja Católica na época. Com o passar dos anos, o Império Islâmico se expandiu e com isso os filósofos árabes se tornaram uma ponte entre os conhecimentos gregos e os filósofos medievais da Europa ocidental, o que acarretou na abertura das primeiras universidades e incentivou o início da Revolução Científica, na Europa. Essa revolução do conhecimento teve uma duração de aproximadamente 150 anos, com a participação de nomes bem conhecidos nos dias de hoje, como Leonardo da Vinci (1452-1519) e Nicolau Copérnico (1473-1543).

Leonardo da Vinci, bastante influenciado pela física aristotélica, considerou novas possibilidades para o estudo do movimento dos corpos. Dizia que o quente e o frio era a causa do movimento dos elementos (terra, ar, água e fogo), onde todo o calor do universo provinha do Sol, sendo ele o principal causador dos movimentos. É dessa ideia que surge sua definição para gravidade: “gravidade é poder acidental, criado por movimento e infundido nos corpos que sobressaem de sua posição natural”. Leonardo da Vinci constrói uma relação entre peso e gravidade, o que ele chama de força. Para ele, força era um agente invisível, podendo ser como uma “energia espiritual”. Nesta definição, conseguimos perceber a ideia de ação à distância associada a gravidade.

Apesar de algumas relações estarem próximas das que conhecemos hoje, a teoria de Da Vinci não teve tanta repercussão. Boa parte de suas ideias foram trabalhadas mais tarde por outros filósofos naturais da época, sem a sua influência.

Copérnico propôs o modelo Heliocêntrico. Neste modelo o Sol não ocuparia o lugar exato do centro do

Universo, mas sim um ponto não muito distante dele. Os planetas, por sua vez, orbitariam o centro do Universo, enquanto a lua giraria em torno da Terra. As estrelas ficariam fixas, na última esfera, pois ainda se tinha a ideia do Universo finito, como mostrado na figura 4. Um fato importante sobre sua teoria é que ainda existiam pontos que Copérnico não conseguia explicar, como a diferente velocidade nas órbitas dos planetas (explicado por Johannes Kepler anos depois). Para isso, ele inseriu diversos círculos (parecidos com os epiciclos teorizados por Ptolomeu) para explicar esse movimento, deixando-os mais complexos e tão preciso quanto o modelo ptolomaico.

Apesar disso, o modelo heliocêntrico de Copérnico teve bastante repercussão na sociedade da época. Um exemplo disso foi o astrônomo e matemático Thomas Digges (1543-1595), que estudou a obra de Copérnico e adicionou uma nova visão para o modelo. Retirou a esfera das estrelas, que indicavam o limite do universo e colocou-as em um espaço infinito.

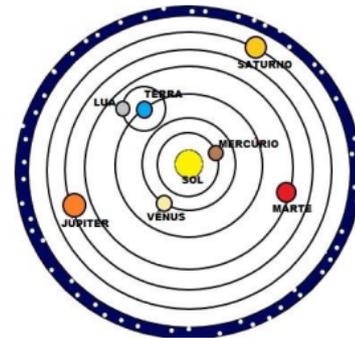


Figura 4: Universo Copernicano – Modelo Heliocêntrico

Fonte: Banco de dados do autor

Outro defensor importante do Heliocentrismo foi Galileu Galilei (1564-1642). Suas observações astronômicas utilizando a luneta fortaleceram o modelo copernicano. Algumas dessas observações foram as fases de Vênus, que passava a ideia de que a Terra estava em movimento, e os satélites de Júpiter, mostrando que havia astros que não giravam entorno de um referencial privilegiado.

Contudo, os conflitos com a igreja dificultaram os estudos de Galileu para o avanço da física, mas não impediram. Suas contribuições acabaram marcando a sociedade na época, o que o levou a ser acusado como herege pela Igreja Católica e condenado a prisão domiciliar até sua morte. Giordano Bruno (1548-1600) também teve importante participação nas manifestações a favor do modelo heliocêntrico. Para ele, o Universo não possuía centro; o centro estava em todos os lugares, expandindo a ideia do Universo infinito. Bruno foi condenado por heresia e queimado na fogueira.

Essa revolução foi uma das causas para a desvinculação da Igreja Católica com a ciência, facilitando o surgimento de novas ideias e pensamentos e o começo do retorno do avanço científico na Europa.

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

1. Qual foi a influência dos filósofos naturais árabes na Revolução Científica da Europa?
2. Após a queda do Império Romano do Ocidente, teve-se um longo período de estagnação científica na Europa. Neste período não houve nenhuma nova teoria ou modelo de Universo na Europa? Se sim, cite-o.
3. O Modelo Copernicano era mais completo, ou seja, explicava mais fenômenos e possuía menos erros do que o Ptolomaico? Comente sobre.
4. Qual foi a principal importância do Modelo Copernicano?

APÊNDICE C

AS ÓRBITAS ELÍPTICAS DE JOHANNES KEPLER

Johannes Kepler (1571 – 1630) sempre foi fascinado por astronomia desde que viu a passagem do cometa Halley, ainda quando criança. Aos 23 anos, Kepler foi chamado para lecionar Astronomia e Matemática na Universidade de Graz, na Áustria, desistindo de sua carreira de teólogo. Essa sua religiosidade teve bastante influência em suas obras.

Em 1595, Kepler teve uma ideia, provinda de seus estudos sobre Astronomia e Matemática, na qual lhe rendeu a publicação de sua primeira obra, intitulada “Mistério Cosmográfico”. Percebeu que na teoria de Copérnico havia mais do que o sistema Heliocêntrico, mas também o pronúncio de uma nova teoria capaz de descrever matematicamente a harmonia do Universo, que era seu objetivo principal. Influenciado por sua religiosidade, Kepler relacionava a estrutura do Universo aos estudos de Pitágoras e Platão, além do modelo copernicano, como na figura 5. Apesar de sua primeira obra não ter grande valor científico, ela serviu para plantar as primeiras sementes que vimos florescer anos mais tarde em suas obras.

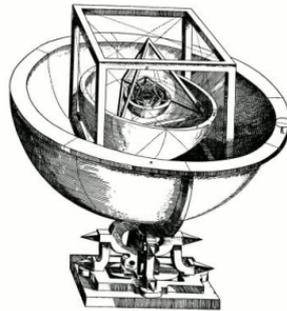


Figura 5: Modelo Cosmológico de Kepler da obra “Mistério Cosmográfico”, de 1595.

Fonte: Johannes Kepler, 1595.

Kepler enviou uma cópia de sua obra para Galileu e Tycho Brahe. Galileu não se importou muito com a obra, porém Brahe o chamou para ser seu assistente em 1599. Tycho Brahe era um astrônomo e possuía uma grande quantidade de dados astronômicos muito precisos para a época, porém não forneceu praticamente nada a Kepler. Depois de muita insistência e vendo sua habilidade com a matemática e astronomia, Brahe acabou cedendo os dados obtidos da órbita de Marte, na qual vários astrônomos haviam tentado resolver seu problema, e Kepler disse que a resolveria em oito dias.

Passaram-se vários anos, e não apenas dias, para ele conseguir resolver o problema da órbita de Marte. Nesse meio tempo, Tycho Brahe acabou falecendo e Kepler assumiu sua posição. Foi estudando a órbita de Marte que começaram a surgir ideias das órbitas serem elípticas e não círculos perfeitos, além da diferença da velocidade em certos pontos das órbitas.

Sua segunda obra foi escrita entre 1600 e 1606, porém só foi publicada em 1609, intitulada “Astronomia Nova”. Ela era dividida em cinco partes nas quais falavam sobre toda a trajetória descrita pelo autor até chegar nos

resultados encontrados. Era uma obra completa, onde até os erros encontrados por Kepler em suas pesquisas foram registrados.

Na quarta parte da obra, Kepler fala sobre as órbitas planetárias, concluindo que elas são elípticas - mostrado de forma exagerada na figura 6 - e que o Sol ocuparia um dos focos da elipse. Essa é a primeira lei dos movimentos planetários de Kepler. A inclusão de órbitas elípticas na descrição dos movimentos planetários tornou mais precisa a conciliação dos dados observacionais com a teoria heliocêntrica, eliminando definitivamente a necessidade dos deferentes e epiciclos.

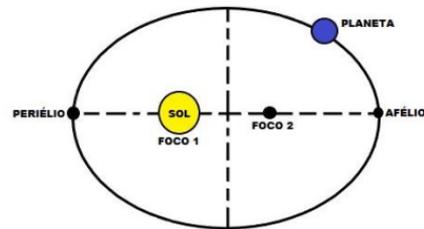


Figura 6: Órbita Elíptica – figura fora de escala

Fonte: Banco de dados do autor

Nesta mesma parte da obra, Kepler também postula sua segunda lei a partir de estudos nos quais mostravam que os planetas não percorriam toda a trajetória da sua órbita na mesma velocidade. As três áreas indicadas na figura 7 têm o mesmo tamanho, e o tempo para percorrer cada uma delas também é o mesmo; portanto, nos leva a concluir que o movimento não é uniforme: a velocidade muda a cada instante.

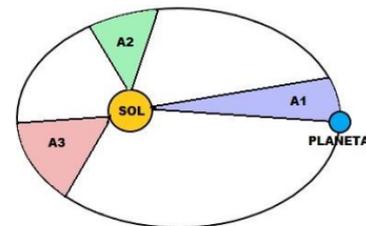


Figura 7: Lei das Áreas – figura fora de escala.

Fonte: Banco de Dados do Autor

Conforme descrito em sua obra, o planeta possui uma velocidade maior quando está no ponto mais próximo do Sol, chamado de periélio e, conseqüentemente, uma velocidade menor quando está mais afastado, ou seja, no afélio. Esta lei mostra uma relação de proporção entre a área varrida pelo planeta em um determinado período. Matematicamente, pode ser descrita pela equação:

$$\frac{A_1}{T_1} = \frac{A_2}{T_2} = \frac{A_3}{T_3}$$

Com o objetivo de encontrar a harmonia do Universo, Kepler, após mais alguns anos de estudo, finalmente conseguiu achá-la através de uma equação matemática que descreve as órbitas de todos os planetas. A sua terceira lei foi postulada em seu outro livro, intitulado

“Harmonia do Mundo” e publicado em 1619. Esta lei teve grande importância para, mais tarde, Newton desenvolver a Lei da Gravitação Universal. Ela dizia que a razão entre o quadrado do período de translação do planeta e o cubo de sua distância média até o Sol é constante para todos os planetas, conforme a equação:

$$\frac{T^2}{r^3} = \text{constante}$$

onde T é o período de revolução do planeta e r é o raio médio da órbita. Neste livro, Kepler escreveu: “Descobri entre os movimentos celestes a natureza plena da harmonia”. Toda sua pesquisa resultou no que hoje conhecemos como leis de Kepler.

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

1. Por que a órbita de Marte era tão complexa?
2. Qual é o principal problema do modelo de Johannes Kepler?
3. Como a sua religiosidade influenciou nos estudos?
4. No texto, discute-se que os dados fornecidos por Brahe tiveram uma grande importância na produção científica de Kepler. Como Brahe obtia dados tão precisos para a época?

APÊNDICE D

A ELABORAÇÃO DA LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

No desenvolvimento da Lei da Gravitação Universal, há vários trabalhos que influenciaram na obra “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural” de Newton, como os de Robert Hooke (1635–1702). Entre 1662 e 1664, Robert Hooke tentou provar experimentalmente que a força exercida pela Terra sobre qualquer corpo variava com a altura. Apesar de seus esforços, não conseguiu detectar nenhuma variação nos valores medidos. Em 1674, Hooke publicou uma obra chamada “Tentativa de demonstrar o movimento da Terra”, onde escreveu umas conclusões interessantes:

- Todos os corpos celestes possuem uma força gravitacional em direção aos seus centros, onde não atraem a si próprios, mas atraem outros corpos celestes;
- Todos os corpos que estejam em um movimento uniforme, continuarão em linha reta até que uma força os desvie para um movimento elíptico ou circular;
- Quanto menor a distância, maior será essa força atrativa.

Christian Huygens se interessou pelas pesquisas de Hooke e começou a estudar essas questões. Em 1673, ele publica um livro chamado “*Hologium Oscillatorium sive de motu pendulorum*”, onde Huygens demonstra qual o valor dessa força, a partir da Terceira Lei de Kepler. A partir dessa dedução, ele percebeu que a força é inversamente proporcional ao quadrado da distância.

Em 1661, Isaac Newton (1643 – 1727) foi admitido no Trinity College, em Cambridge, onde estudou o universo aristotélico e as ideias revolucionárias vindas do continente europeu. Porém, em 1665, com a peste bubônica, a universidade foi fechada e Newton teve que voltar para sua casa, onde trabalhou sozinho por vários anos e começou a desenvolver suas principais contribuições na óptica, mecânica e matemática.

Em 1684, Newton recebe a visita de Edmond Halley, onde ele pergunta qual seria a órbita de um planeta que se movesse sob ação de uma força de atração com origem no Sol e que variasse com o inverso do quadrado da distância. Newton, já tendo estudado sobre o assunto, respondeu que seria uma elipse. A partir dessa resposta, Halley fez com que Newton escrevesse este resultado e o mandasse o mais rápido possível. Assim, Newton começou a lançar algumas ideias de uma teoria que explicasse o movimento dos planetas; estabeleceu que a atração gravitacional atua em todos os corpos do universo e concluiu que o Sol não pode estar em repouso; estabeleceu que a Terra não era perfeitamente redonda e calculou o achatamento da Terra conforme a variação gravitacional e a latitude, que ocasiona o fenômeno das marés.

Newton publica todos esses seus estudos de movimento dos corpos e suas causas em 1687, na obra “Princípios Matemáticos de Filosofia Natural”. Para ele, a força gravitacional era a força atrativa (figura 8) e dominante no universo, responsável pelo nascimento das estrelas e movimento dos planetas, cometas e satélites nos sistemas planetários.

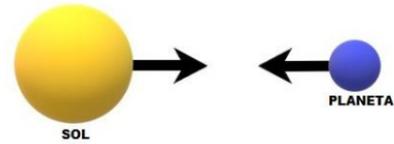


Figura 8: Força de Atração Gravitacional – figura fora de escala

Fonte: Banco de dados do autor

Depois do trabalho fundamental efetuado por Newton, surge o universo conhecido como Universo Newtoniano, governado por leis e equações quantitativas da natureza. Porém, conforme evoluíam as medidas dentro do sistema solar, os problemas com a Lei da Gravitação Universal de Newton começaram a surgir. Um exemplo interessante para este problema é o avanço do periélio de Mercúrio. As Leis de Kepler só são válidas se contarmos os efeitos dos dois corpos que estão sendo analisados e desprezarmos todos os outros. Como não existem apenas dois corpos no nosso sistema solar, há uma diferença chamada de precessão, que é quando o periélio da órbita de um determinado planeta sofre um avanço (Figura 9).

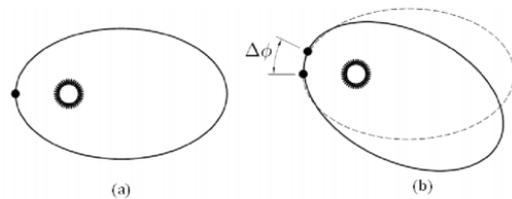


Figura 9: Precessão do Periélio de Mercúrio

Fonte: Morais, 2009

O valor calculado por Newton, da precessão do periélio de Mercúrio, difere do valor observado e só explicado com a chegada da Teoria da Relatividade Geral de Einstein. Além disso, a teoria da relatividade explicava uma série de outros fenômenos gravitacionais como o desvio de raios luminosos causados pela gravidade, mas ela ainda não explicava a aceleração secular nos satélites de Marte e as oscilações do movimento da Lua.

Apesar dos avanços no estudo da gravidade, há muitos fenômenos no próprio sistema solar ainda sem explicação até os dias de hoje, portanto, concluímos que o conhecimento dos movimentos celestes ainda não está completado.

QUESTÕES PARA DISCUSSÃO

1. Por que Hooke não conseguiu encontrar diferenças nos valores medidos, em seus experimentos, conforme a altura, se a força gravitacional varia com a distância?

2. Hooke e Huygens já possuíam várias hipóteses a respeito da força atrativa (que mais tarde se chamaria gravidade). Quais foram as “novidades” trazidas por Newton a respeito desse conceito?
3. Ao final do texto, fala-se que ainda existem algumas questões não respondidas, do próprio sistema solar, e que não possuem explicações. Quais são elas? Por que ainda não se conseguiu explicá-las?
4. Com a chegada da Teoria da Relatividade Geral, houve inúmeras modificações no que se diz respeito ao conceito de gravidade. Isto torna a Lei da Gravitação Universal de Newton inválida? Justifique.