

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**Instituto de Física, Instituto de Química,  
Instituto de Biociências e Faculdade de Educação**

**ELISABETE APARECIDA DO AMARAL**

**Gravitação Também é Cultura no Ensino Médio?**

**SÃO PAULO**

**2018**



ELISABETE APARECIDA DO AMARAL

## **Gravitação Também é Cultura no Ensino Médio?**

Versão corrigida

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, área de Ensino de Física, para a obtenção do título de Doutora em Ensino de Ciências.

Área de Concentração: Ensino de Física

Orientador: Prof. Dr. João Zanetic

**SÃO PAULO**

**2018**

Autorizo a reprodução e divulgação parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte. Reproduções integrais e/ou comercial somente são permitidas com expressa autorização, por escrito, da autora.

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação do Instituto  
de Física da Universidade de São Paulo**

Amaral, Elisabete Aparecida do

Gravitação também é cultura no ensino médio? São Paulo, 2018.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Prof. Dr. João Zanetic

Área de Concentração: Ensino de Física.

Unitermos: 1. Física (Estudo e ensino); 2. Gravitação (Estudo e ensino); 3. História da ciência; 4. Ensino de física.

USP/IF/SBI-055/2018

*Uma tese é muito mais que um trabalho acadêmico, é uma vida escrita em palavras.*

*Dedico este trabalho ao meu pai Benedicto (in memoriam), que sempre me dizia “Nunca desanime, filha”!, e Abigail (in memoriam), minha querida mãezinha que me deixou, há um ano, antes de eu terminar a escrita da tese. Ao mesmo tempo, sempre lembrava de sua firmeza, coragem e força nos grandes desafios que enfrentamos nesta vida. Para mim, seu exemplo de vida sempre foi um estímulo para eu nunca desistir dos meus sonhos. Viva para sempre em minha lembrança, sua voz doce e firme me dizendo: “salvou, filha, mandou pro João?”. Essa pergunta me fazia seguir em frente escrevendo. Nestes momentos eu escutava as suas orações perto de mim quando eu reclamava de alguma dificuldade para escrever. Você resolveu enfeitar o céu mãezinha! Mas meu coração estará sempre unido ao seu. Sei que está feliz e orgulhosa de me ver concluir esta tese e agradecida ao João por ser esse orientador maravilhoso e amigo de sua filha. Agradeço ao João por todo o apoio, dedicação, orientação e amizade e a quem também dedico esta tese.*



## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar a Deus por permitir que eu tivesse o privilégio de encontrar pessoas que me ajudaram ao longo do caminho. E foram muitas ao longo deste percurso.

Em especial, reitero meu agradecimento ao professor João Zanetic, por seu apoio e dedicação que tornou possível a continuação desta tese no momento mais difícil da minha vida, a partida da minha querida mãezinha. Em cada etapa meu orientador me ajudou a superar a dor e continuar em frente. Todas as palavras existentes não seriam suficientes para descrever a imensa amizade, admiração e profunda gratidão que tenho por ele. As reuniões de trabalho com ele sempre foram momentos preciosos de encorajamento e críticas construtivas, sua brilhante orientação possibilitou a finalização desta tese.

Ao meu irmão, José Antonio, irmão mais velho que aos seus dez anos de idade me incentivou desde cedo a gostar de Física, escrevendo para a NASA, espalhando fotos de naves pelo quarto e falando de ficção científica. E por todo o seu carinho e atenção comigo! A Cristina e sobrinhos Daniel e Mariana, pelo carinho durante todos esses anos.

À minha adorada tia Ducilia (*in memoriam*) que me incentivava desde a época do vestibular para estudar Física em São Carlos. Aos queridos primos Regina e Flavio, Ester, Ricardo, Adília, Renata, Marcela, Priscila, Enzo.

Às professoras Thais Forato e Beatriz Fagundes que muito contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, ao participarem do Exame de Qualificação. Aos professores Luis Carlos de Menezes e Maria Regina Kawamura, que muito me apoiaram e torceram desde o início para a conclusão desta tese, com quem convivi e por tudo que pude aprender e viver durante esse tempo. A professora Martha Marandino que me recebeu atenciosamente em seu grupo quando resolvi trilhar por um tempo o caminho dos Museus de Ciência.

Ao amigo Walter Mendes Leopoldo pela ajuda inestimável na formatação de figuras e na estética do texto da tese.

Aos amigos já distantes, mas perto do coração Bete Gaucha, Erika, Alexandre Pinto, Alexandre Pimentel, Alexandre Bagdonas, Gildo, Leonardo, Marcelo Porto, Marcio Corralo, Osvaldo Canato, Luciana Tavares, Carlos Rocha, Jose Alves. E os amigos recentes como Andre Noronha, Fernando, Flavia e Renata e não tão recentes como a Neusa, Leimah, Marcos Mauricio e a Liliam que muito contribuíram para esta tese e pela convivência que me enriqueceu a vida.

À Universidade de São Paulo que permitiu a realização deste trabalho.

AMARAL, E. A. do. **Gravitação Também é Cultura no Ensino Médio?** 2018. 289f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências. Área de Concentração: Ensino de Física) – Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Biociências e Instituto de Química. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018

## **Resumo**

Esta pesquisa tem como objetivo apresentar uma proposta didática que privilegie os elementos culturais da Física, a partir de uma abordagem histórico-epistemológica no Ensino Médio.

A expectativa nutrida é que com essa abordagem possamos contribuir para alterar um quadro que, em geral, mostra uma física regada de formalismo matemático.

Para a realização desse estudo, foi produzido um material didático utilizando como referência básica as Notas de Aula, elaboradas pelo professor João Zanetic, para a disciplina Gravitação, ministrada no curso de Licenciatura em Física do IFUSP.

O programa desenvolvido, no material histórico-epistemológico, tratou da construção do paradigma aristotélico e do advento da proposta copernicana que com ele competiu até chegar à teoria gravitacional de Newton, herdeira do desafio copernicano.

Na aplicação, realizada com estudantes de uma escola técnica estadual, investigamos se o material histórico – científico viabilizou para os estudantes uma compreensão de que o conhecimento é historicamente construído, procurando desmistificar a visão de uma ciência pronta, neutra e realizada apenas por grandes “gênios”.

Da análise de nossos dados, concluímos que uma parcela dos estudantes considerou significativa a contribuição da história da ciência para concretizar essa dimensão formativa e cultural da Física no Ensino Médio.

**Palavras-chave:** História da Ciência, Ensino de Física, Gravitação.



AMARAL, E. A. do. **Gravitation Is Also Culture in High School?** 2018. 290f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências. Área de Concentração: Ensino de Física) – Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Biociências e Instituto de Química. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018

## **Abstract**

This research has as principal objective submit a teaching proposal that prevail the cultural elements of Physics from a historical epistemological approach in high school.

We are expecting that with this approach we can contribute to modify a situation that, in general, shows an incomprehensible physical, filled with abstract equations and concepts.

To carry on this study, was produced a historical scientific material using as basic reference the Class Notes of Professor João Zanetic, for the discipline it in the course of Degree in Physics teachers.

The developed program dealt with the construction of the aristotelic paradigm and the advent of the Copernican proposal that competes with the Aristotelian until arriving at gravitational theory of Newton, heiress of the Copernican challenge.

In application, that involved State Technic high school students, we analyzed if the scientific historical material made viable for students an understanding that Knowledge is historically constructed trying to demystify a vision of a finished science, neutral and only realized by great geniuses.

The analysis of our results, showed part of the students considered significant the contribution of the history of science to promote this formative and cultural dimension of physics.

**Keywords:** History of Science, Physics Teaching, Gravitation



## Sumário

Capítulo 1: Histórias da “História da Ciência” .....	21
1.1 História da Ciência e Cultura .....	21
1.2 A História e Historiografia da Ciência: Um debate sobre externalismo e internalismo.....	29
1.3 História da Ciência como disciplina e área de pesquisa .....	35
1.4 História da Ciência no cenário da educação científica .....	43
1.5 História da Ciência: Algumas Considerações educacionais .....	52
1.6 Uma historiografia didática.....	59
1.7 Uma Reflexão Sobre a Simplificação e a Deformação da História da Ciência na Educação Científica .....	62
1.8 Contornos da História da Ciência no âmbito do presente trabalho.....	66
Capítulo 2: História da Ciência e Educação Científica: o exemplo da Gravitação Universal .....	71
2.1 Educação científica nas perspectivas Freiriana e “Zaneticiana” .....	71
2.2 Os Três Momentos Pedagógicos.....	75
2.3 Problema de Pesquisa e Justificativa .....	77
2.4 Uma proposta didática para o ensino de Gravitação a partir de uma perspectiva da História da Ciência: um estudo de caso histórico .....	82
Capítulo 3: Reflexões sobre a Gravitação Universal a partir da História da Ciência .....	85
3.1 Introdução .....	85
3.1.1 Os pré-socráticos e os pitagóricos.....	88
3.2 Por que as coisas pesadas caem? .....	91
3.3 O modelo de mundo aristotélico-ptolomaico e a tentativa de salvar as aparências.....	96
3.4 Preparando o terreno.....	101
3.5 As Contribuições de Tycho Brahe, Kepler, Giordano Bruno e Galileu.....	112
3.6 Os Caminhos de Newton para os “Principia” (Princípios) .....	121
3.7 A Gravitação Universal.....	131
3.8 A Sequência didática.....	138
Capítulo 4: Um ensaio empírico .....	159
4.1 Questão de pesquisa.....	159
4.1.1 O Contexto da pesquisa: o percurso metodológico e os dados coletados .....	159
4.2 Objetivo Geral.....	161

4.2.1	Objetivos específicos: .....	161
4.3	Caracterizações do ambiente e dos participantes do ensaio empírico .....	162
4.3.1	A Escola .....	162
4.3.2	Os Estudantes .....	162
4.3.3	Dos instrumentos elaborados para a produção dos dados .....	162
4.3.4	Base teórica para a metodologia de análise: Material Didático Histórico- Epistemológico .....	164
4.4	Análise dos dados .....	168
4.4.1	O questionário inicial .....	169
Capítulo 5:	Considerações Finais .....	215
	Referências Bibliográficas.....	221
	Anexo I – Texto dos Estudantes .....	237
	Anexo II .....	277
	Anexo III .....	287

## Apresentação

Acredito que este tipo de discussão não pode estar ausente tanto na formação do pesquisador em física quanto na formação do professor de física que, devido ao seu papel na educação básica, acaba sendo o elemento que serve de correia de transmissão entre a “cultura científica” e a maioria da população. Aliás, a física enquanto cultura não pode prescindir desses “aspectos externalistas como a influência sócio- econômica. (ZANETIC, 1989, p.160)

Conforme lemos na epígrafe deste capítulo, Zanetic já apontava, em sua tese escrita em 1989, que a ciência tem que ser apresentada como parte integrante da herança cultural da humanidade, defendendo a proposta de que as ideias científicas são parte de um contexto histórico e cultural. Referindo-se particularmente à física, esse autor critica o ensino sequenciado e linear, pautado pela ênfase na memorização e defende que se inclua no ensino de física o contexto do surgimento dos conceitos, sua história, considerando os fatores sociais de seu desenvolvimento. (ZANETIC, 1989)

Trabalho pioneiro dessa discussão e inspiração principal dessa pesquisa, a tese do professor João Zanetic, “*Física também é cultura*”, possibilitou nossa primeira aproximação com uma proposta de educação científico cultural (ECC), que privilegia e associa a dimensão conceitual da Física com sua dimensão formativa e cultural.

Em sua tese, referenciado em autores como Paulo Freire e George Snyders, esse autor defende que os conteúdos escolares numa educação transformadora são conteúdos culturais que, se apropriados pelos estudantes, permitem que esses desenvolvam a “*curiosidade epistemológica*”, que tem papel fundamental no processo ensino – aprendizagem (FREIRE 1975; ZANETIC,1989; SNYDERS, 1988).

Referindo-se especialmente à Física, Zanetic discute e critica seu ensino propedêutico veiculado no contexto escolar, percebendo-a como instituição social que, principalmente a partir da segunda metade do século XVII, sofreu influências e teve também consequências sociais.

Assim, alerta que o conteúdo de Física a ser ensinado na escola, deve conter elementos dessa “cultura científica”, como o contexto do surgimento dos conceitos, seus embates, as teorias concorrentes, o ambiente cultural no qual essas teorias se desenvolveram (Zanetic, 1989).

E para tal, é preciso apresentar o caminho percorrido pela ciência, destacando as razões que presidiram o abandono de determinadas concepções científicas que foram substituídas por outras.

A partir dessa perspectiva de ensino *zaneticiana* a física escolar deveria mostrar não somente o surgimento dos conceitos, mas, sobretudo seu “*por que*”, revelando as motivações e as inovações dos cientistas. Resumindo, a Física deve ser ensinada “*como um elemento básico para a compreensão do mundo contemporâneo, para o entendimento de concepções do mundo físico, que existiram na história para a satisfação cultural do cidadão contemporâneo*” (ZANETIC, 1989, p.24 *apud* SNYDERS, 1988).

Dentre os elementos culturais que permeiam o programa de reflexão *zaneticano* de ensino de Física podemos citar: “*a experiência, a história; a realidade; a física moderna; a política; os clássicos e a pergunta* (CANDOTTI, 2009, p.15).

Para Zanetic, é imprescindível que essas abordagens se façam presentes nos cursos de formação de professores, já que fazem parte da estrutura conceitual e metodológica da prática científica. Esses importantes elementos comparecem no capítulo 3 de sua tese (Pressupostos filosóficos e o ensino de Física) e no capítulo 4 (História da Ciência e ensino de Física), onde apresenta as bases epistemológicas de Karl R. Popper, Gaston Bachelard, Paul Feyerabend e Thomas S. Kuhn, quando trata mais especificamente da Física.

E assim, esse autor alerta para a importância do professor da educação básica problematizar as diferentes visões epistemológicas da ciência. Segundo ele devido a sua riqueza teórica e histórica a Física é particularmente adequada para essa discussão. Destaca também que o método hipotético – dedutivo de Popper, bem como o método defendido por outros positivistas, é passível de crítica, pois nessa corrente a ciência é vista como cumulativa e linear.

Assim, Zanetic defende que é necessário explicar o processo do desenvolvimento científico, trazendo as diferentes visões epistemológicas e metodológicas, permitindo que o estudante da escola básica tenha acesso não somente aos conceitos, mas também às práticas que envolvem a atividade científica.

A nosso ver, considerando que a escola tem como função primordial estimular a curiosidade dos jovens, atraindo o seu interesse para a ciência pela promoção de experiências emocional e intelectualmente envolventes, é imprescindível adequar os conteúdos escolares de forma a proporcionar aos estudantes um modelo de ensino que não somente fale sobre os produtos da ciência, mas que contemple o complexo processo de construção do conhecimento científico.

E, nesse ponto, Zanetic ressalta a História da Ciência, tanto a história internalista como a externalista, ambas primordiais para a compreensão do fazer científico. De acordo com essa distinção, por exemplo, o desenvolvimento das leis de Newton, do princípio da conservação da energia, da experiência de Milikan, entre outros, seriam exemplos de aspectos internos. Os fatores econômicos, religiosos, educacionais, culturais seriam aspectos que podemos nomear como externos. Mas, como afirma Zanetic (1999, p.82):

A divisão entre essas duas formas de procedimento histórico é demais simplificadora e não abrange outras formas de fazer ou de apresentar a História da Física, principalmente quando estamos nos referindo a textos didáticos utilizados nas disciplinas introdutórias ou dos destinados ao ensino médio. Nestes textos, quando estão presentes capítulos, apêndices ou notas históricas, temos quase sempre arremedos de história da ciência: são aquelas sequências cronológicas de datas de grandes invenções de descobertas sensacionais ou de nascimento e morte das principais personagens envolvidas nesses acontecimentos, acompanhadas de ilustrações que representam essas personagens ou seus feitos.

Esse tipo de história factual e cronológica, como afirma Zanetic, acaba perpetuando concepções ingênuas do fazer científico, estereotipadas e até equivocadas. A ideia de integrar a história da ciência no ensino surge, obviamente, no sentido de proporcionar aos estudantes uma compreensão mais significativa e cultural dos conceitos científicos e, principalmente oferecer uma maior possibilidade de usar esse conhecimento para entender parte do mundo contemporâneo.

Nossa hipótese é que um entendimento conceitual bem fundamentado ocorre, necessariamente, por meio da abordagem histórico-epistemológica, pois tal contexto favorece aos estudantes a emergência de questionamentos, posicionamentos em defesa de suas ideias, assim como um exercício de análise crítica.

Desse modo, para a formação de uma cultura científica no contexto escolar, devemos considerar dois aspectos: de um lado os aspectos conceituais da ciência e de

outro, a dinâmica de como o conhecimento científico é construído, como o cientista desenvolveu e justificou seu conhecimento, quais mudanças e paradigmas ocorreram, as competições entre teorias concorrentes, enfim, uma dimensão cultural da Física.

Nesta perspectiva, a história da ciência tem sido apontada, por muitos autores, como um caminho para fundamentar essa reflexão crítica e fornecer subsídios para discussões das diferentes visões de ciência, revelando os aspectos socioculturais do empreendimento científico, desvelando os interesses que os motivaram.

Embora exista esse consenso geral no que se refere à importância da abordagem histórico-epistemológica dos conceitos científicos no contexto escolar, estudos demonstram ainda a escassez de trabalhos que investigam a utilização dessa abordagem na prática da sala de aula (FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011; GUERRA, REIS, BRAGA, 2013; HODSON, 2009; MARTINS, 2006, MARTINS et al.,2014).

Entretanto, nossa experiência no contexto escolar, nos leva a considerar que a física escolar ainda resume-se a uma breve apresentação de leis e conceitos. Corroborando essa física tradicional que ainda resiste no contexto escolar, Daniel Gil-Perez e colaboradores (2001) realizaram um extenso levantamento de trabalhos de pesquisa na literatura e relataram que muitos professores dos diferentes níveis de ensino apresentam visões distorcidas da ciência. Dentre elas, destacam-se visões neutras, descontextualizadas, que não abordam as complexas relações entre a ciência e o contexto sócio-cultural, na qual, esta se desenvolve.

A visão de “caráter experimental do conhecimento científico”, a presença de interpretações alternativas das teorias científicas, a influência da época sobre o desenvolvimento de um conhecimento científico e sua relação com a visão de mundo adotada pelos cientistas dificilmente é enfatizada no âmbito da escola básica.

Dentre as dificuldades da inserção da abordagem histórica apontadas pelos pesquisadores estão: a pseudo-história, a falta de formação adequada do professor e, principalmente a ausência de materiais adequados para o ensino médio (FORATO 2009; BALDINATO, 2015).

A tese de doutorado de Forato (2009, v1, p.188-189) discute e aprofunda importantes questões práticas da inserção da história da ciência no ensino, como a difícil tarefa de ajustar harmoniosamente as necessidades didático-pedagógicas da sala de aula com os requisitos da historiografia da ciência, sem incorrer no que se denomina de *pseudo-história*. Como resultado desse estudo, Forato elaborou um conjunto de 22 parâmetros para subsidiar sequências didáticas que aderem à abordagem histórica da ciência na educação básica.

Neste trabalho, assumimos alguns desses parâmetros na elaboração do material histórico-epistemológico.

Na literatura defende-se que a discussão a respeito da abordagem histórica no ensino de ciência inclui explicitar sobre qual história da ciência se deve recorrer para se atingir os objetivos educacionais pretendidos.

Nesse caminho, torna-se inevitável a necessidade de discutir a historiografia da ciência contemporânea, bem como suas implicações para o ensino de Física. Entretanto, ao me deparar com a literatura que trata da abordagem histórico-epistemológica no ensino de ciências (TEIXEIRA, 2010; DANIEL, 2011; ARTHURY, 2016), percebi uma ausência de discussões sobre as bases conceituais que permitiram o desenvolvimento teórico desta área de conhecimento. Desta forma, visando superar esta nossa insatisfação, apresentaremos brevemente, no início desta tese, alguns elementos desta base conceitual do que conhecemos hoje como historiografia e história da Ciência. Mas antes de tratarmos dessa questão, vamos a seguir relatar os objetivos de nosso trabalho.

O objetivo principal deste trabalho é apresentar uma proposta didática que privilegie os elementos culturais da Física, a partir de uma abordagem histórico-epistemológica, no Ensino Médio. E para tal com o propósito de viabilizar essa dimensão formativa e cultural no ensino de Física, nossas questões norteadoras são:

- (i) Apresentar um levantamento dos resultados das pesquisas que investigam a abordagem histórica na educação científica;
- (ii) Elaborar um texto de revisão da reconstrução histórica dos diversos modelos teóricos que permitiram a emergência do que se entende por gravitação universal, com a finalidade de subsidiar a elaboração do material didático.

Em nossa dissertação de mestrado, intitulada “*A Literatura e a História da Ciência no ensino de Física: Um Estudo Exploratório*” (AMARAL, 2003), realizamos um estudo da recepção e eficácia das contribuições da história e da filosofia da ciência no ensino, relacionado com a crítica e o debate em torno das teorias gravitacionais. Em seguida, elaboramos uma proposta envolvendo também a interdisciplinaridade, buscando estabelecer uma ponte entre física e literatura utilizando o livro “*O Tempo e o Espaço do tio Alberto*” (STANNARD, 1992) que narra as consequências da teoria da relatividade restrita de Albert Einstein. A coleta de dados dessa aplicação, com estudantes do Ensino Médio, serviu-nos como instrumento de análise e reflexão, quando pudemos constatar que estas diversas experiências didáticas revelaram uma grande receptividade por parte dos estudantes, reforçando a viabilidade dessas abordagens.

A presente pesquisa também se volta para a área de interface entre história da ciência e ensino, pois entendemos que a física enquanto dimensão cultural e formativa na educação básica, não pode prescindir da abordagem histórico-epistemológica dos conceitos, levando em conta os aspectos sociais do desenvolvimento científico, necessários para a formação de qualquer cidadão contemporâneo (ZANETIC, 1989).

Os benefícios que a história da ciência pode trazer ao ensino são amplamente divulgados na literatura especializada (MARTINS, 2006; MATTHEWS, 1994).

Entretanto nos cursos de licenciatura, raramente os professores de ciências têm recebido alguma formação que perpassasse discussões historiográficas, o que contribui para concepções equivocadas e ingênuas sobre a natureza da ciência (ALLCHIN, 2011; IRZIK & NOLA, 2011). Outro problema a ser enfrentado são as próprias concepções de ensino dos professores de Física. Estes, em geral, acreditam que a Física deve ser ensinada como uma verdade absoluta repleta de fórmulas matemáticas.

Segundo Braga e colaboradores (2008) essa forma tradicional foi herdada de uma filosofia dogmático-instrumental originada na França do século XVIII. Essa cultura se reflete nos livros didáticos disponíveis para o ensino de Física, onde a história da ciência aparece apenas como um mero apêndice.

Pensando nas dificuldades enfrentadas pelos professores que decidem trabalhar com a história da ciência e na carência de materiais para concretização dessa abordagem em sala de aula, acreditamos na importância de nos debruçarmos sobre dois aspectos:

1. Entender quais princípios historiográficos mais se ajustariam com a perspectiva de proporcionar ao estudante uma educação científica com essa abordagem;
2. Elaborar um material histórico-epistemológico que contemple os diferentes modelos teóricos, desde a primeira ideia “gravitacional” de Aristóteles, que permitiram a emergência do que se entende por gravitação universal.

Apesar de sua relevância social, cultural e histórica, a gravitação raramente é abordada no ensino médio, o que descaracteriza a própria mecânica newtoniana, pois seu desenvolvimento está ligado a novas ideias e novos valores da prática científica, isto é, novas maneiras de observar a natureza.

Nossa experiência na educação básica seja em nossa vivência como professora ou como pesquisadora no ensino de ciências, corrobora a pouca presença da gravitação no currículo escolar. De modo geral, quando essa temática é abordada, a referência adotada por professores na preparação das aulas é ditada unicamente por um manual didático destinado a esse objetivo, que em larga escala reconstrói a imagem de Ciência cumulativa e linear ocultando as grandes revoluções científicas aos estudantes, impossibilitando-os de desenvolverem sua própria visão crítica da Ciência.

De acordo com Zanetic (2007) a história da evolução das ideias da mecânica, da qual o estudo da gravitação ocupa uma posição de destaque, acaba se confundindo com a história do nascimento da própria física clássica, assim denominada após o advento e vitória do paradigma newtoniano no século XVII. Isso justifica a necessidade de um estudo mais profundo dos sistemas de mundo propostos pelos estudiosos que, a seu tempo, procuraram compreender e explicar o funcionamento do universo.

Neste contexto percorrer resumidamente os caminhos do pensamento grego, com uma apresentação breve dos primeiros filósofos como Thales de Mileto e seu importante questionamento: de que matéria prima fundamental é constituído o universo (ZANETIC, 2007, p.19), passando pela astronomia grega e suas esferas de cristal com suas formas de pensar o mundo. A concepção de movimento local de Aristóteles com suas categorias de movimento natural e violento.

Não podemos deixar de mencionar Aristarco de Samos, que foi pioneiro do heliocentrismo. Na esteira do pensamento grego surge Copérnico que fere o pensamento aristotélico-ptolmaico de uma Terra central. No entanto, Copérnico ainda tinha preservado muito da antiga concepção como, por exemplo, a finitude do Universo e a hegemonia do círculo.

Posteriormente, dois nomes que estariam presentes nesse contexto, Galileu Galilei e Johannes Kepler, são muito importantes para o nascimento da mecânica. A ciência de Galileu, a saber, as primeiras observações dos corpos celestes através de um instrumento óptico, a sua luneta, contribuiu fortemente para o paradigma copernicano, observando alguns satélites de Júpiter, as irregularidades da superfície da Lua e as fases de Vênus, entre outras observações. E as novas ideias introduzidas por Galileu, como o princípio de inércia e o princípio da relatividade, possibilitou um impulso significativo no desenvolvimento de uma nova Física. Galileu combate a principal objeção contra a hipótese da Terra em movimento, que seriam os efeitos produzidos por esse movimento sobre os corpos terrestres, afirmando que *“os movimentos de um corpo não são perceptíveis por qualquer outro corpo”* (PORTO e PORTO, 2009, p. 5) que participe de seu movimento.

Temos também Johannes Kepler, mais conhecido nos livros didáticos como autor das três leis fundamentais que dizem respeito ao movimento orbital dos planetas em torno do Sol e que também deu um reforço para a articulação do paradigma de Copérnico. Ele foi responsável pelo rompimento com a hegemonia do círculo na explicação dos movimentos planetários, que vinha desde a época dos gregos, utilizando os dados de Tycho Brahe.

E todas essas contribuições foram fundamentais para o nascimento da mecânica, cuja grande síntese foi elaborada por Isaac Newton e publicada, em 1687, no *Philosophia Naturalis Principia Mathematica*. Mas, infelizmente, as contribuições de Copérnico, Galileu e Kepler continuam desconhecidas dos estudantes e também dos professores de física.

Neste sentido, a questão de apresentar a física como elemento cultural básico no contexto escolar é a preocupação principal que motivou esse trabalho. Desse modo, a

questão do caráter cultural da física nos remete diretamente à sua história, como produto social que carrega a cultura de uma determinada época.

Portanto, torna-se necessário esclarecer a relação que se estabelece entre o conhecimento científico, a cultura e a sociedade. Assim, entendemos que os episódios da história da ciência são importantes na formação de uma concepção científico-cultural na educação básica.

Apresentamos a seguir a estrutura desta tese

O **primeiro capítulo** trata dos referenciais teóricos que contêm os elementos que darão sustentação à nossa tese. Ele está subdividido da seguinte forma: na primeira parte pretendemos discutir a confluência entre história da ciência e cultura. Para tanto, recorreremos às reflexões sobre a relação entre Cultura e Ensino de Física propostas por Zanetic (1989). Ainda neste capítulo, apresentamos uma breve revisão sobre o tema história da ciência como disciplina e área de pesquisa, apontando seus desdobramentos na educação científica. E a partir daí, discutiremos a concepção historiográfica que foi adotada no âmbito deste trabalho.

A historiografia da ciência passou por diversas transformações conceituais e metodológicas. Portanto, a compreensão das diferentes correntes historiográficas requer a investigação para quais objetivos se destinam, bem como em relação aos métodos para realizá-los. Tais referenciais devem contribuir, posteriormente, na análise de elementos culturais investigados e apresentados ao longo desse trabalho, como também, na elaboração do material histórico científico produzido pela pesquisadora. Ou seja, pretende-se identificar quais princípios conceituais e metodológicos da historiografia da ciência devem comparecer para se trabalhar um ensino contextualizado, de forma a problematizar a ideia de que a Física, particularmente em nosso caso a gravitação, também é cultura na educação básica.

No **segundo capítulo**, pretendemos redirecionar as discussões teóricas anteriores, buscando uma aproximação com um referencial de educação progressista, inspirando-se nas reflexões do educador Paulo Freire, presentes nos chamados “momentos pedagógicos” (DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNANBUCO, 2002) no sentido de subsidiar nossa ação didático-pedagógica, articulando as ideias de Freire à educação científica. (DELIZOICOV, 2008, 2001, 1991; GEHLEN, 2009; 2006). Por

fim, apresentamos a proposta didática para o ensino da Gravitação a partir da intersecção entre dois pressupostos educacionais: a perspectiva cultural da física do professor João Zanetic aliada à visão freiriana de educação.

No **terceiro capítulo**, intitulado *Reflexões sobre a Gravitação Universal a partir da História da Ciência*, apresentamos um breve relato histórico de como se deu a estruturação da disciplina “Gravitação” ministrada pelo professor João Zanetic no curso de licenciatura do Instituto de Física da Universidade de São Paulo. As *Notas de Aula* do professor João Zanetic foram a principal referência básica que norteou a produção do material didático pela pesquisadora. Em seguida apresentamos e justificamos mais detalhadamente, quais aspectos epistemológicos e metodológicos foram eleitos para a elaboração do material histórico-epistemológico.

Em seguida, apresentamos os diferentes modelos teóricos, desde a primeira ideia “gravitacional” aristotélica até a síntese newtoniana. Nesse capítulo, destaca-se a teoria de Copérnico e sua implicação no desenvolvimento de uma nova física que, em conjunto com outras transformações culturais e filosóficas, permitiram a Isaac Newton promover a ruptura epistemológica representada pela teoria da gravitação universal. Os *Principia* são a primeira exposição sistemática e rigorosa, sob o ponto de vista matemático e de método, de como se começou a pensar e a fazer uma nova ciência. Em seguida, apresentamos o planejamento da proposta didática.

No **quarto capítulo**, intitulado *Um ensaio empírico* apresentamos a metodologia de tomada e análise de dados, envolvidas na implementação da sequência didática. Também nesse capítulo caracterizamos o ambiente e os participantes do ensaio empírico.

No **quinto capítulo**, intitulado *Considerações finais* pretendemos sumarizar as reflexões teóricas, na tentativa de entender a partir da análise dos dados empíricos, em que medida a intervenção didática, contribuiu para que os estudantes desenvolvessem uma melhor reflexão crítica ou compreensão acerca dos aspectos relacionados à evolução dos conceitos físicos e à natureza da ciência, priorizados no trabalho de investigação, a saber: o entendimento por parte dos estudantes da Física como cultura, ou seja, a compreensão dos aspectos conceituais e epistemológicos. Finalmente, faz-se uma conclusão geral do trabalho realizado.

## Capítulo 1: Histórias da “História da Ciência”

A recuperação da física enquanto uma área do conhecimento tem muito a contribuir na formação cultural geral de um cidadão contemporâneo. Ao lado do algoritmo, da aplicação na solução de determinados problemas importantes, (por exemplo, “a física das coisas”), a história da física oferece o aspecto dinâmico de uma área do conhecimento em evolução e/ou mudança. (ZANETIC, 1989, p. 160)

Apresentamos neste capítulo, uma breve discussão que focaliza a interface ciência, história e cultura. Nesse primeiro momento problematizamos a história da ciência como o elo de ligação entre duas culturas normalmente polarizadas: a humanística e a científica. Para isso, nos deteremos em alguns autores como C. P Snow e João Zanetic.

Na sequência vamos enfocar a historiografia da história da Ciência. Esta revisão tem como propósito desvelar alguns caminhos sinuosos que esse campo de saber sofreu ao longo do tempo. Mas antes de prosseguirmos queremos esclarecer que não temos a pretensão de produzir um trabalho teórico sobre a história da ciência.

No entanto, faz-se necessária uma reflexão sobre a historiografia da ciência, explicitando suas diversas tendências e propostas, para um melhor entendimento das transformações conceituais e metodológicas que esse campo de conhecimento experimentou, principalmente no século XX. (BALDINATO e PORTO, 2009). E a partir daí eleger quais princípios conceituais e metodológicos da historiografia da ciência melhor se alinham com os objetivos de nossa proposta de proporcionar aos estudantes da escola básica uma educação científica cultural.

### 1.1 História da Ciência e Cultura

Segundo (Zanetic, 1989) a ciência como cultura valoriza a dimensão formativa do conhecimento físico na educação científica. Zanetic já no final dos anos de 1980 reconhecia a necessidade urgente de ultrapassar o ensino meramente informativo na escola básica, enfatizando a Física como um importante arcabouço cultural da humanidade.

De acordo com ele, a Física é uma instituição social que, a partir da segunda metade do século XVII, sofreu profundas transformações no seu modo de se relacionar

com as demais instituições. Interesses políticos, sociais e econômicos influenciaram o desenvolvimento da pesquisa em diferentes épocas. Portanto, já naquela época apontava que o conteúdo de física a ser ensinado na educação básica deveria conter esta “cultura científica”. Nas palavras do autor deve, no mínimo, ser “*uma tentativa de apresentar a Física como elemento cultural básico para a compreensão do mundo contemporâneo, para o entendimento de concepções do mundo físico que existiram na história e para a “satisfação cultural” do cidadão contemporâneo*”. (ZANETIC, 1989).

Nesse sentido, entendemos que um bom conhecimento e uma correta compreensão das raízes da ciência são requisitos importantes para auxiliar os estudantes a compreenderem a natureza da ciência e a terem uma ideia clara do seu papel na sociedade. Para tanto, os estudantes devem não apenas conhecer a Ciência, mas compreender como é a prática científica. (GARIK; BENÉTREU-DUPIN, 2014).

Dentro dessa perspectiva, Santos (2009, p.535) ressalta o elo entre educação e cultura:

A educação científica que tem como requisito e instrumento gerador de cidadania a ciência como cultura ao propor-se ensinar a cada potencial cidadão o indispensável para se tornar cidadão de fato torna-se numa educação cidadã. Ou seja, é necessário construir ambientes educativos que desenvolvam essa cidadania.

Portanto, reconhecer a ciência como parte fundamental da cultura, implica vislumbrar o ensino de Física não somente a partir de suas potencialidades, mas também de seus limites, valores e controvérsias relacionados, com sua natureza e com sua História, trazendo à tona sua dimensão formativa e cultural.

Desse modo, neste trabalho partimos da premissa partilhada por muitos pesquisadores (ZANETIC, 1989; FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011; GUERRA, REIS, BRAGA, 2013; HODSON, 2009; MARTINS, 2006) em ensino de ciências, de que a história da ciência é dimensão constitutiva do conhecimento científico.

Para Zanetic, a Física como cultura apresenta várias dimensões que, além de trazer ao estudante da escola básica um quadro mais completo do estado atual de desenvolvimento da ciência, permite contemplar as diferenças individuais dos

estudantes na sala de aula, quanto ao interesse pelo grande leque que compõe ao conhecimento universal.

Como podemos ver a partir dos itens elencados a seguir, Zanetic aponta algumas dessas dimensões constitutivas do conhecimento físico:

- i. as teorias paradigmáticas que se sucedem na história;
  - ii. as bases observacionais e experimentais cada vez mais sofisticadas;
  - iii. os algoritmos representativos das diferentes teorias;
  - iv. a evolução histórica dessas teorias com permanências e rupturas;
  - v. a evolução metodológica;
  - vi. as relações de mão dupla com a sociedade;
  - vii. as aplicações tecnológicas, principalmente na atualidade;
  - viii. as influências, nas/das outras áreas do saber;
  - ix. o papel desse conhecimento num país como o Brasil contemporâneo;
- etc. (ZANETIC, 1989, p.167).

Esse conjunto de elementos que Zanetic vislumbra, a nosso ver, nos permite apresentar o que ele denomina de “física real” (ZANETIC, 1989, P.177) procurando, através dessas diferentes dimensões, demonstrar aos estudantes que a *“Física também é Cultura”*.

Neste ponto chamamos à discussão o caráter interdisciplinar da própria historiografia da ciência. Como aponta Videira (2007, p.12) *“a historiografia é um discurso crítico, que procura mostrar mais claramente possível, as bases epistemológicas, históricas, políticas e axiológicas sobre as quais os discursos históricos são construídos”*.

Podemos inferir que a historiografia da ciência carrega em si mesma uma imagem da ciência. Neste contexto, não podemos dizer que haja uma visão mais correta

da historiografia da ciência, mas, pelo seu próprio caráter interdisciplinar ela carrega múltiplos olhares em relação à ciência. A esse respeito, Videira (2007, p.130) observa:

A interdisciplinaridade da história da ciência é uma de suas mais flagrantes características, tornando-a uma disciplina heterodoxa. Não apenas a sua heterodoxia decorre de ela ter que interagir com tantas disciplinas diferentes, mas a sua relevância cultural se origina desse fato [...]

Portanto, essa característica interdisciplinar coloca a história da ciência como uma ponte entre ciências humanas e ciências exatas, o que a torna um espaço para a discussão de aspectos metodológicos e culturais.

Segundo Knight (2004), na emblemática palestra de C. P. Snow<sup>1</sup>, em sua conferência “*As duas culturas e a Revolução Científica*” de 1959, Snow entreviu a linha divisória: de um lado estavam os cientistas com seu mundo lógico e matemático e do outro, aqueles que faziam parte do mundo da retórica e da imaginação. A história da ciência seria a conexão que possibilitaria o diálogo entre essas duas culturas.

E, a nosso ver, é nessa interface que conseguimos enxergar o empreendimento científico como herança cultural da humanidade. Para deixar mais clara essa ideia, vejamos a citação de Rene Taton:

Relacionando-se concomitantemente com as ciências, a filosofia e a história geral, a história das ciências encontra-se numa situação totalmente particular, isto é, na própria fronteira das ciências humanas, das ciências puras e das técnicas. Sua posição privilegiada numa zona de tão fecundas confluências transforma-a num instrumento cultural de alto valor. Surge assim como um dos principais fundamentos do novo humanismo científico, cuja aplicação se tornou tão necessária, pelo rápido desenvolvimento e a especialização cada vez mais precoce dos estudos científicos e técnicos. (VIDEIRA *apud* TATON, 1959, p.9)

A perspectiva cultural da história da ciência (HC) valoriza os contextos de produção do conhecimento científico, possibilitando o estudo das ciências com seus aspectos sociais, humanos e culturais. Ela apoia-se em modelos que reconhecem o valor da ciência, mas também discute seus limites e controvérsias.

Segundo Videira, quando Taton, na citação acima, refere-se à história da ciência, coloca-a como uma necessidade de compreender os avanços da ciência,

---

<sup>1</sup> Knigth se refere às ideias apresentadas por C.P.Snow, em sua conferência *The two cultures and Scientific Revolution*, proferida em 1959.

avaliando que no bojo dessa ideia se encontra a antiga tese de que a ciência é algo “estranho à sociedade”. Isso ocorreu principalmente após a Segunda Guerra Mundial, onde a Ciência passou a sofrer pesadas críticas da sociedade.

Foi no início da segunda metade do século XX, que se propagou esse pensamento, que encontrou forte oposição entre cientistas e filósofos que eram favoráveis à ciência. Já nos referimos anteriormente à separação existente entre a ciência e as humanidades, exemplificada no trabalho de C.P.Snow – *As duas culturas* – ou seja, que existira um abismo entre a cultura dita científica e a cultura dita humanística.

No entanto, no século XVII, a ciência e a cultura mantinham um estreito elo, ou seja a Física ainda se chamava “filosofia natural”. Essa ligação com o passar do tempo foi ficando cada vez mais fraca. Foi então que Knight, dentre outros, preocupado com essa questão observaram que a “*história da ciência parecia uma espécie de cola capaz de manter duas culturas unidas*” (KNIGHT, 2004, p.149).

A ideia de integrar a história da ciência ao ensino da Física, que temos defendido neste trabalho, surge obviamente, no sentido de não somente melhorar a aprendizagem, mas proporcionar aos estudantes uma forte consciência da natureza da ciência e do seu papel no progresso e na evolução da humanidade. Esta intenção não é alheia a nossa prática pedagógica, que todos os dias nos revela que os estudantes se interessam cada vez menos por ciência ou chegam com visões distorcidas da prática científica.

Além disso, no contexto escolar, a fragmentação das disciplinas endossa a visão de dois campos distintos: de um lado, os professores das ditas ciências humanas e de outro os professores das ditas ciências exatas, dificultando a interação e o diálogo entre diferentes áreas do conhecimento. Como consequência dessa “cultura” separatista o sistema educacional em geral e não reconhece a ciência como parte da cultura da humanidade.

Mas se nos reportamos a alguns cientistas do passado, como nos lembra Zanetic, veremos que essa posição não foi sempre assim.

Já podemos reconhecer na obra de Kepler *Somnium seu Astronomia Lunari* (Sonho ou Astronomia da Lua), um dos primeiros trabalhos de ficção científica. Nesta obra ele descreve não apenas uma viagem à Lua, mas também a exploração de nosso satélite natural. Kepler teria se inspirado em um trabalho de Plutarco, *A face da Lua*, que ele anexa ao seu *Sonho*, quando publicado, ainda como fragmento, em 1634 (ZANETIC, 1997, p. 139-140).

Assim, Kepler pode ocupar um espaço atual tanto nas aulas de Física quanto nas aulas de literatura.

Entretanto, o ensino de Física ainda separa a ciência da imaginação, privilegiando a memorização de termos científicos, fórmulas e soluções de problemas, fazendo com que a maioria dos estudantes estude Física para a prova, sem prazer.

Corroborando a ideia acima, percebemos de nossa vivência no cotidiano escolar que, entre muitos educadores, defende-se a visão de que as ciências exatas e as ciências humanas não se misturam. Segundo essa vertente, os trabalhos dos cientistas, por envolverem conceitos e leis sobre a natureza pouco teriam de criativo, imaginativo, ou seja, a ciência nada tem de poético. Como afirma Snow (1995, p.22) “*Num polo os literatos, no outro os cientistas, e como os mais representativos, os físicos. Entre os dois um abismo de incompreensão mútua*”.

Dessa forma, a provocação de que os humanistas não conhecem conceitos básicos da ciência e os cientistas não conhecem as dimensões psicológicas, sociais e éticas dos problemas científicos, feitas em 1959 por C.P. Snow, em seu livro *As duas culturas* (SNOW, 1959), mantém-se até hoje.

João Zanetic vem tentando fazer essa ponte entre as duas culturas desde sua tese de doutorado (1989), onde apresenta a Física como parte integrante da cultura. Em um trabalho mais recente, apresentado sob forma de palestra no SNEF (2010), disse que “*sua convicção é de que a Física deva participar da formação cultural do cidadão contemporâneo, independente das eventuais diferenças de interesses individuais e das mais variadas motivações acadêmicas e/ou profissionais*”.

Tendo em vista que é vital ultrapassarmos o ensino dogmático e descontextualizado da Física no contexto escolar que, a nosso ver, descaracteriza a

ciência como cultura quando compreendida como patrimônio imaterial da humanidade e presente na sua memória coletiva concordamos com Santos (2009, p.534) quando a autora afirma que:

a educação científica escolar tem virtualidades relevantes para a vida dos cidadãos, se fizer um esforço explícito no sentido do aproveitamento dessas virtualidades. Um esforço que implica uma viagem no entendimento de educação e mudanças no entendimento disciplinar. De fato, se a maior parte do tempo vivido pelos alunos na escola é dedicado às disciplinas curriculares é principalmente nestas que a educação científica escolar deve investir. Pode-se fazer através dos saberes e competências que essas disciplinas veiculam, dos processos de aprender e de pensar que promovem e dos valores sociais, culturais, humanistas e cívicos que lhes estão associados. Um esforço para que a imagem escolar canônica de uma disciplina neutra e objetiva, transmitida de geração em geração- imagem que ignora aspectos funcionais e pragmáticos do saber e que surge desligada de questões sociais, filosóficas, políticas, econômicas e éticas.

Nesse sentido, quando temos um projeto de educação científica cultural, ou seja, quando a ciência é tratada como cultura, abre-se a porta para novos ambientes educativos que sejam eles mesmos ambientes de cidadania e desenvolvendo no estudante uma atitude crítica diante de novas teorias, descobertas e paradoxos através dos quais a ciência evolui. Ainda segundo Santos (2009, p. 534) construir esses ambientes educativos é:

(...) é permear o ensino substantivo da disciplina de princípios e valores que penetrem em questões relacionadas com alguns conteúdos da ciência, com a sua natureza e estatuto e com o lugar da História da Ciência no ensino de Ciências, não é subestimar a dimensão conceitual da disciplina, mas complementá-la com a dimensão formativa.

Outro importante argumento em favor de uma abordagem cultural da ciência no ensino básico está relacionado à ideia de que a introdução da história da ciência no ensino potencializa a motivação do estudante, bem como maior participação e interesse na aprendizagem de física. Esse aspecto é de grande valor, já que a física é considerada uma das disciplinas menos atrativas pela maioria dos estudantes, em parte porque a prática tradicional (formulismo) em sala de aula não oferece uma compreensão significativa de seus conteúdos.

A partir dessa compreensão, compartilhada por pesquisadores da área de educação científica constituíram-se as denominadas abordagens contextuais do Ensino de Ciências, nas quais se propõe que a aprendizagem das ciências deve contemplar a aprendizagem sobre a natureza da ciência. (El HANI, 2006).

Essa nova concepção de ensino se reflete em propostas curriculares que destacam a compreensão da natureza da ciência como um requisito fundamental para a formação de uma cultura científica na educação básica. Segundo Schwab (1964) *apud* El-Hani (2006), essas propostas buscavam se afastar do que Schwab denominou de “retórica de conclusões”, ou seja, restrita apenas à apresentação dos produtos da ciência, não abordando o complexo processo da construção do conhecimento científico.

Nas décadas de 60 e 70 houve um aumento significativo do ensino contextual na educação básica e superior (PRESTES, 2009). Com essa preocupação, pesquisadores oriundos de diferentes campos do saber, como historiadores e filósofos da ciência e sociólogos comprometidos com os problemas de ensino e aprendizagem, uniram-se aos educadores de ciências produzindo um vasto número de publicações destinadas a investigar a abordagem dos aspectos da natureza da ciência (MATTHEWS, 1989, 1990).

Um marco importante para esta reaproximação foi a primeira conferência internacional sobre História, Filosofia, Sociologia e o Ensino de Ciências, na Universidade da Flórida em novembro de 1989 (MATTHEWS, 1989,1995). Fruto desse diálogo entre os pesquisadores resultou a criação, em 1992, do periódico “*Science & Education: Contributions from History, Phylosophy and Sociology*”.

Assim, nota-se já naquela época um movimento no sentido de dar aos currículos de ciência um maior relevo à história e filosofia. Por exemplo, nos Estados Unidos da América, em 1996 a abordagem contextual se fez presente no documento do *National Research Council* (NRC) intitulado *National Science Education Standards*. Esse documento foi criado com base nas diretrizes da orientação curricular do projeto 2061 estabelecido anteriormente pela *American Association for the Advancement of Science* (AASS). No entanto, esse documento sofreu críticas por enfatizar os produtos da ciência a partir de episódios históricos que destacam apenas os grandes cientistas e suas contribuições.

Na mesma época no Reino Unido, os professores também foram incentivados a aderir à abordagem histórica da ciência. Essa ideia está presente no *National Curriculum Council* (NCC). (PRESTES, 2009)

No Brasil, a Lei de Diretrizes e Bases LDB/1996, ao considerar o ensino médio como a finalização da educação básica, excluiu o caráter simplesmente propedêutico dessa forma de ensino.

A partir dessa reforma, foram delineados os novos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e suas orientações curriculares complementares aos PCN- os denominados PCN + (RICARDO, 2005; MENEZES, 2000).

Sem qualquer pretensão de iniciarmos uma discussão acerca de currículo, a história da ciência tem estado presente nos currículos da educação básica e superior, tanto do Brasil quanto no exterior (MATTHEWS, 1995) já desde aquela época. Isso reforça a importância de se realizar constantes pesquisas que possam subsidiar as alterações, modificações e reestruturações curriculares, sempre tendo a perspectiva da educação científica como cultura em vista.

O destaque que a História da Ciência ganhou frente aos currículos gerou um conjunto de justificativas, possibilidades e discussões sobre a relevância da aproximação entre a História da Ciência e o Ensino de Ciências. Mas essa aproximação entre duas áreas de conhecimento, com especificidades próprias, sempre foi complexa.

Isso se reflete, também na crescente expansão de programas de pós-graduação em História da Ciência com desdobramentos em diferentes áreas como a Física, a Química e a Biologia. E esse diálogo entre diferentes campos de conhecimento certamente tem favorecido essa abordagem no âmbito escolar. Mas, apesar do potencial educativo da história da ciência, muitos pesquisadores alertam que há uma série de obstáculos a serem superados por aqueles que se propõem a sua efetiva realização. Por esse motivo, no âmbito do presente trabalho buscamos oferecer uma sucinta revisão da historiografia da ciência e suas implicações no ensino.

## **1.2 A História e Historiografia da Ciência: Um debate sobre externalismo e internalismo**

Martins (2004, p.115) define a historiografia da ciência como sendo o resultado da produção dos historiadores, enquanto a história é o conjunto de eventos pertencentes a uma determinada época. Neste aspecto, Martins aponta que:

[...] Pode-se considerar que a história existe independentemente da existência dos historiadores [...]. Ela é constituída por um encadeamento de atividades humanas ocorridas ao longo do tempo. A historiografia, por outro lado, é o produto da atividade dos historiadores. Ela é composta essencialmente por textos escritos e reflete sobre os acontecimentos históricos agregando-lhes um caráter discursivo novo. Procura desvendar aspectos da história, mas não é mera descrição da realidade histórica. Além desses dois, há um terceiro nível, que é a reflexão sobre a atividade dos historiadores. Este também é usualmente chamado de “historiografia”, mas para maior clareza, vamos utilizar o termo “meta-historiografia” [...] Trabalhos sobre metodologia da pesquisa histórica e discussões sobre correntes e abordagens utilizadas pelos historiadores são igualmente meta-históricas.

Desse modo, no primeiro nível Martins refere-se à história como acontecimentos ocorridos no passado. Enquanto que a historiografia seria a produção dos historiadores com seus registros e interpretações das análises dos fatos históricos. E por fim, Martins define um terceiro nível, quando utiliza o termo “meta-historiografia da ciência”. Neste último termo ele faz referência às diferentes correntes e abordagens historiográficas como sendo, portanto, uma reflexão sobre os trabalhos dos historiadores da ciência.

Neste aspecto devemos entender a historiografia como uma interpretação dos acontecimentos históricos e, portanto, não é neutra e é sempre influenciada por diferentes visões, dependendo da concepção de ciência daquele que escreve. Assim, a historiografia reflete critérios que estão baseados na concepção epistemológica do historiador.

A respeito disso D’Ambrósio argumenta que:

A historiografia é, essencialmente, a história das narrativas, do registro dessas narrativas e da interpretação dos processos de decisão tomados por grupos sociais. Os dados históricos, geralmente, são fragmentados e a composição e reconstituição desses dados aproxima a história da ficção. Particularmente na falta de registro escrito, a historiografia se aproxima da ficção (D’Ambrósio, 2004, p.166).

Daí depreende-se que toda a concepção histórica está submetida a certas concepções filosóficas, culturais e científicas do seu autor e, portanto, trata-se de uma visão de mundo.

Retomemos aqui brevemente as teses de Hessen sobre Newton que influenciaram muitos historiadores e cientistas de vários países, dos quais faziam parte, entre outros, John Desmond Bernal (1901 – 1971), especialista em cristalografia, e Joseph Needham (1900 – 1995), bioquímico e historiador da ciência. Podemos

reconhecer aqui aquilo que posteriormente se convencionou chamar visão *externalista* da história da ciência, em oposição à historiografia tida então como *internalista*. (BELTRAN, 2014, p. 37).

Outra perspectiva historiográfica surge, por exemplo, a partir dos estudos de Lynn Thorndike (1882-1965), que pensava a transformação da ciência a partir de uma perspectiva operacionista, vislumbrando-a como uma gama de possibilidades que contemplaria desde a magia até o experimentalismo.

Thorndike escreveu a obra *História da Magia e Ciência Experimental* [tradução nossa], publicada em oito volumes entre 1923 e 1958. Nesta obra o autor apontava que a magia precedera a ciência moderna. No entanto, esta obra não causou muito impacto na época de sua publicação, pois a maioria dos historiadores e cientistas adeptos do positivismo não incluíam esse tipo de investigação em seus estudos. (GOLDFARB, 2004; BELTRAN, 2014).

Neste cenário, abre-se uma possibilidade de debate a partir de duas perspectivas historiográficas distintas: “internalista” *versus* “externalista”.

A corrente historiográfica definida como externalista considera a ciência como uma atividade humana fruto do contexto social, político e econômico de um determinado período histórico. Já a perspectiva internalista entende a ciência como autônoma, neutra e independente do contexto social onde o conhecimento científico é produzido.

A corrente externalista teve grande influência nos trabalhos sobre história da ciência de Bernal. É importante destacarmos a publicação em 1939 do livro de Bernal. *A função social da ciência* que, por sua vez, influenciou a consciência social de cientistas de todo o mundo. No início dos anos cinquenta, Bernal publica o livro *Science in History* [Ciência na História – tradução nossa] que se tornou um clássico no campo da história da ciência (BELTRAN et al, 2014).

Segundo Beltran (2014, p. 37), os trabalhos de Bernal contribuíram para a consolidação da história social da ciência. Também merece destaque a contribuição de Needhan, que fez um trabalho minucioso sobre a ciência chinesa, defendendo a anterioridade do conhecimento oriental sobre o ocidental.

Assim como autores que se alinham mais as vertentes externalistas, a nosso ver, uma historiografia centrada apenas nos aspectos internos da ciência é anacrônica, não permitindo uma análise mais profunda sobre como um conhecimento foi produzido. Contudo, considerar apenas os aspectos externos da ciência também não contempla toda a complexidade do fazer científico. Atualmente o debate entre o “internalismo” e o “externalismo” já foi praticamente superado pelos historiadores da ciência, já que se reconhece que ambos os aspectos são fundamentais para um quadro mais completo da construção do conhecimento científico.

Outro debate que queremos pontuar aqui, pois também contribuiu para a transformação do modo como se entende a história da ciência foi aquele em torno da visão descontinuista de ciência. Um dos pioneiros deste debate foi Gaston Bachelard (1884 – 1962), filósofo francês, que propôs a ideia de que a ciência não se desenvolve de maneira contínua, mas que sofre rupturas ao longo do processo, ou seja, ao longo de sua história ideias antigas são substituídas por outras mais novas.

Embora Bachelard tenha rompido com a visão continuista da ciência, sua ideia de desenvolvimento científico ainda está pautada na noção de progresso científico. Além disso, para Bachelard, a história deveria ser contada a partir da ciência do presente. Conhecida como “presentista” ou praticante da recorrência histórica, essa corrente historiográfica também foi alvo de muitas críticas.

Herbert Butterfield (1900 – 1979), em seu trabalho publicado em 1931, intitulado *The Whig interpretation of history*, critica Bachelard argumentando que os historiadores tomaram partido. Esse tipo de narrativa foi inspirado na prática do partido político britânico, que buscava organizar a história para firmar seu próprio poder. (FORATO, 2009, p.20).

De acordo com Forato (2009), esse é um tipo de anacronismo denominado de whiguismo, que tem como objetivo enaltecer grandes pensadores. Além disso, este modelo de narrativa histórica não considera o contexto social e valoriza apenas o discurso científico moderno. (BELTRAN, 2014, p. 40).

A tese da descontinuidade incomodou muitos filósofos contemporâneos de Bachelard, mas induziu estudos relativos à descontinuidade na ciência, principalmente nas décadas de 1940 e 1950. (ALFONSO –GOLDFARB, 1994).

Ainda nesta perspectiva descontinuísta, Koyré se manifesta como um descontínuista internalista, onde, além de se assumir como alguém que não acredita numa continuidade metodológica e conceitual, acredita que a ciência se desenvolve em seus âmbitos, sem elementos externos à práxis do cientista. O foco de seu estudo não incluía o contexto social onde o cientista está inserido. Essa ideia fica muito clara no seguinte trecho:

Não é a estrutura social da Inglaterra no século XVII que nos pode explicar Newton, nem é a Rússia de Nicolau I que pode lançar alguma luz sobre a obra de Lobatchevsky. Esta é uma empresa inteiramente quimérica, tão quimérica quanto querer predizer a futura evolução da ciência ou das ciências em função da estrutura social ou das estruturas sociais de nossa sociedade ou nossas sociedades. (KOYRÉ, 1982, p.377)

Para Koyré, autor de importantes estudos sobre Galileu, a Ciência avançava, mesmo que de forma descontínua, desde a Antiguidade, tendo em vista que cada período partia de diferentes precursores.

A partir da década de 1960, nesse então estabelecido debate entre continuísmo e descontinuísmo, o norte-americano Thomas Kuhn (1922 -1996) seria um personagem central na ruptura definitiva com a historiografia continuísta da ciência quando publicou, em 1962, o livro *A estrutura das revoluções científicas*, muito discutido pelos filósofos da ciência (ALFONSO- GOLDFARB, 1994).

Recorrendo a exemplos históricos, Kuhn desenvolveu sua tese contra o continuísmo, colocando em foco a ideia de paradigma como sendo um conjunto de regras, normas, crenças e teorias que direciona a ciência numa determinada época.

Segundo Kuhn, haveria períodos de ciência normal, nos quais a ciência avançaria dentro do seu próprio paradigma. Ele escreve:

Considero “paradigmas” as realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência. Quando esta peça do meu quebra-cabeça encaixou no seu lugar, um esboço preliminar deste ensaio [A estrutura das revoluções científicas] emergiu rapidamente (KUHN, 1998, p. 13)

Os períodos de ciência normal seriam intercalados por outros, chamados revolucionários, nos quais um paradigma entra em crise, ou seja, suas explicações não são mais satisfatórias ou não dão conta dos fenômenos.

Nessas ocasiões, vários paradigmas, ainda incompletos, competiriam entre si para tomar o lugar do que foi abandonado. A escolha de um novo paradigma ocorreria com base em motivos científicos, estéticos, emocionais, políticos, e não apenas por razões lógicas. E, perante a novos fenômenos que resistem à explicação dentro do paradigma vigente, este começa a revelar-se como uma fonte de problemas e de incongruências, que não podem ser solucionados pela “ciência normal”.

Um período de crise mais ou menos longo, se estabelece, no qual não há um consenso, mas sim debates fortemente polêmicos.

Surge então a necessidade de uma ruptura paradigmática, que é a revolução científica e culmina com a consequente aceitação do novo paradigma. Cabe destacar que para Kuhn o novo paradigma não tem nada em comum com o paradigma anterior e por isso ele denominou essa característica de incomensurabilidade entre diferentes paradigmas. Como exemplo, consideremos o conceito de gravidade, ou seja, a teoria de Einstein não é uma evolução da teoria de Newton, e assim, não há possibilidade de comparação ente elas.

As discussões epistemológicas e históricas de Kuhn foram importantes, pois derrubaram dois obstáculos: o primeiro, epistemológico, que impedia de se analisar a ciência como um empreendimento humano, sujeita a falhas, erros e acertos e muito influenciada pelo contexto cultural. O segundo, de natureza pedagógica, determinava que o ensino não deveria apenas oferecer o produto final da atividade científica, mas sim uma visão do processo e do contexto que a caracterizam.

Na próxima seção analisaremos as possíveis relações entre a história da ciência e o ensino de ciências. Para tal, a partir de sua caracterização inicial, faremos uma análise a fim de evidenciar as possíveis contribuições, as críticas recebidas, bem como as principais dificuldades apontadas por aqueles que resistem em utilizá-la. Por fim teceremos algumas considerações em torno das possíveis interfaces em sala de aula entre história e ensino de ciências.

### 1.3 História da Ciência como disciplina e área de pesquisa

A nosso ver, a história é, para o ser humano, um sistema de referência, aquele que lhe diz de onde vem e quais as direções que pode tomar. Contudo, o seu papel vai muito além de um simples sistema de coordenadas, onde estão marcadas as posições tomadas e os caminhos delineados, pois, tal como num estudo científico, é necessário compreender como se chegou a essas posições e que fatores levaram a seguir esses caminhos.

Ao longo da história os avanços científicos influenciaram a evolução da sociedade com seus fatos políticos, econômicos, culturais ou religiosos. Por exemplo, a descoberta da regularidade do movimento dos astros tornou possível aos povos antigos saberem a época da colheita e da sementeira por meio da construção dos calendários, assim como, a geometria e o desenvolvimento da matemática estavam na base das grandes obras de engenharia da antiguidade.

É longa a lista de fatos científicos que, de alguma forma, marcaram a evolução das sociedades. Assim, o desenvolvimento científico traz novas ideias e valores, isto é, novas maneiras de ver e sentir o mundo.

Vemos, por exemplo, que à medida que o conhecimento científico vai surgindo os mitos e as crenças vão perdendo força, sendo reinterpretados ou substituídos por esse conhecimento, como destacado por Martins<sup>2</sup> (2012, p.35):

(...) Os mitos, por isso, não tinham valor e precisavam ser substituídos por um conhecimento racional do mundo – algo como nossa ideia de ciência. A medida que se enfraqueceu a crença nos mitos, surgiu entre os filósofos gregos várias interpretações para eles.

Certas concepções filosóficas e religiosas foram abaladas pelo modelo heliocêntrico de Copérnico ao tirar a Terra e o Homem do centro do Universo. Por outro lado, no início do século XX surgiram, também, a Teoria da Relatividade e a Teoria Quântica cuja influência no campo da tecnologia tem sido notória inclusive nestas últimas décadas. E, no Ensino Médio, se livre dos currículos puramente “enciclopédicos”, cabe também uma comparação heurística entre os conceitos de Centro do Universo, do século IV AC, e o do Big Bang, do século XX.

---

<sup>2</sup>Fonte: Martins, A.R. O universo: teorias sobre sua origem e evolução. SP: Editora da Física, 2012.

Entendemos que uma correta compreensão das raízes da ciência, adequadas ao nível de escolaridade própria, são requisitos importantes para auxiliar os estudantes a compreenderem a natureza da ciência e uma ideia clara do seu papel na sociedade.

A Física e a ciência, em geral, proporcionam, por meio da sua história, a vivência de uma aventura maravilhosa sobre as descobertas do ser humano. Cabe aqui lembrar esta frase do físico Mário Schenberg: “A História da Ciência é mais fascinante que um romance policial.” (Schenberg, 1984, p. 30) Deste modo, é importante oferecer ao estudante a compreensão desta nossa herança cultural, mesmo e, talvez, principalmente para aqueles que não têm a intenção de prosseguir em uma carreira ligada à ciência.

Nas primeiras décadas do século XX, Gaston Bachelard, químico e epistemólogo, já apontavam as dificuldades no ensino de ciências, professando a célebre frase: “*Eu tenho sido constantemente surpreendido pelo fato dos professores não compreenderem que não se compreenda*” (BACHELARD, 1996). E ele sempre destacava a importância da história da ciência para problematizar os obstáculos epistemológicos.

Recentemente, a nossa vivência no contexto escolar também corrobora a afirmação de Pietrocola (2012, p. 20) quando aponta que os professores não percebem que as dificuldades dos estudantes estão relacionadas às características do conhecimento que desejam ensinar, criticando a concepção lógico-indutivista da ciência, direcionada pelo método empírico e pela ideia de verdade inquestionável.

Análises histórico - epistemológicas fornecem elementos que permitem reflexões mais profundas sobre a atividade científica, enfraquecendo os mitos em torno das supostas verdades absolutas da ciência e do empirismo isolado e destacam o caráter eminentemente humano do conhecimento científico.

Como se pretende mostrar neste trabalho, a história da ciência pode favorecer uma imagem da ciência como parte integrante da cultura e como tal, tem um caráter universal que compreende outros aspectos e valores relativos à história da humanidade. Além do pensamento lógico-analítico que fundamenta as teorias científicas, comparecem a imaginação e a criatividade como peças essenciais da prática científica e, portanto, da própria ciência.

Nesse sentido, é consenso entre os pesquisadores que a história da ciência é importante para a educação científica. Na literatura especializada, são muitos os trabalhos que discutem a inclusão da abordagem histórico - epistemológica na educação básica. (FORATO, 2009; PEDUZZI, 2001; HENRIQUE 2011; BELTRAN, 2014) entre outros).

Entretanto, o reconhecimento da importância da história da ciência não é, de todo, um aspecto novo. No início do séc. XVII Francis Bacon defendia que, para se entender a ciência, seria preciso estudar sua história. (BALDINATO et. al, 2009).

Matthews (1994) aponta entre os precursores da abordagem histórica o físico e filósofo austríaco Ernest Mach (1838-1916) e os educadores norte-americanos John Dewey, James Conant e Gerald Holton. Mach argumentava que para a compreensão de um conceito teórico, é necessário compreender o seu desenvolvimento histórico.

Neste contexto, não podemos deixar de mencionar o importante trabalho histórico de Ernst Mach com sua reflexão crítica sobre o conceito de massa e seu cuidadoso estudo sobre os conceitos newtonianos de espaço e tempo absolutos (MACH, *apud* ZANETIC, et. al. 2009, p. 107). A citação abaixo representa o pensamento de Mach sobre a história da ciência:

Devemos reconhecer também que para a compreensão histórica da ciência, não só é necessário conhecer as ideias que foram aceitas e cultivadas pelos professores subsequentes, como também os pensamentos rejeitados e transitórios dos investigadores que, aparentemente, poderão parecer como noções erradas, contudo são matérias que se revestem de grande importância e são deveras elucidativas (...). A investigação histórica não só promove a compreensão do que existe na atualidade, como também mostra novas perspectivas, revelando que o que existe é, em grande medida, convencional e acidental<sup>3</sup>! (...) (MACH *apud* FITAS, p. 12)

Como lemos na citação acima, este autor já defendia uma abordagem histórico-filosófica. No entanto, “*acabava selecionando só o que considerava certos e erros do passado que de alguma forma pudessem ser ligados ao presente*” (ALFONSO-GOLDFARB, 1994, p.65).

---

<sup>3</sup> Mach, Ernst (1883). Die Mechanik in Ihrer Entwicklung Historisch-Kritisch Dargestellt. Leipzig: F. A. Brockhaus. (Mach, 1974a).

Não nos esqueçamos de Pierre Duhem (1861 – 1916) que foi filósofo, historiador e epistemólogo e seus trabalhos históricos sobre as contribuições medievais para a construção da mecânica. (ZANETIC, 2009, p. 107).

Para Duhem, o conhecimento de uma disciplina, qualquer que ela fosse, estava necessariamente ligado ao conhecimento da sua história, o que o levou se debruçar sobre vários temas, sendo o autor, entre outras, das seguintes obras: *L'évolution de la mécanique*, *Les origines de la statique* (2vols), *Études sur Leonard da Vinci* (3vols), *Le système du monde*, *Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic* (10 vols).(ALFONSO-GOLDFARB,1994,p.66).

No entanto, Duhem e Mach acabam contemplando um modelo baseado nas tendências epistemológicas da virada do século, pressupondo o desenvolvimento contínuo e cumulativo da Ciência. (ALFONSO - GOLDFARB, 1994, p.50)

De acordo com Fitas, 2011, Pierre Duhem foi o primeiro defensor da tese continuísta no desenvolvimento da ciência. A citação seguinte ilustra sua tese continuísta:

(...) a mecânica e a física, motivos de orgulho dos tempos modernos, desenvolveram-se, através de uma sucessão ininterrupta de aperfeiçoamentos dificilmente observáveis, com base nas doutrinas professadas no seio das Escolas da Idade Média; as chamadas revoluções intelectuais, muito frequentemente, não foram mais do que evoluções lentas preparadas longamente (...) o respeito pela tradição é uma condição essencial do progresso científico.(DUHEM apud FITAS, 2011, p.14)

Na tese de continuidade, proposta por Duhem, a ciência moderna nasce no século XIII, e não como supunha a visão estabelecida, no século XVII. Uma dessas teses considera a teoria do impetus de Buridan já uma teoria da inércia que contém a concepção moderna do movimento como estado.

Assim, Duhem traz a inovadora ideia de que não haveria uma grande ruptura entre a ciência medieval e a ciência moderna. Em sua concepção, a ideia de “precursores” é essencial. Esse autor, analisando as obras de Galileu, particularmente a que se refere à Mecânica, não encontra progressos que possam ser caracterizados como uma inovação na ciência. Para ele, os trabalhos realizados pelos pensadores dos séculos XVI e XVII procuraram retomar as ideias do século XIII.

Portanto, Pierre Duhem contrariava a perspectiva da historiografia tradicional positivista que afirmava que qualquer conhecimento anterior ao século XVII não poderia ser considerado científico.

Desse modo, ao negar a existência de uma ruptura entre a ciência medieval e a ciência moderna, Duhem elabora uma nova interpretação acerca do nascimento da ciência moderna.

Logo essa divergência se intensificaria produzindo duas correntes historiográficas que interpretam de forma diferenciada o nascimento da ciência moderna: a primeira caracteriza o nascimento da ciência moderna como uma mudança radical do pensamento e, portanto, como uma revolução, e a segunda como um desenvolvimento contínuo e cumulativo do pensamento científico.

Alexandre Koyré, historiador da ciência, adepto da visão descontinuísta apesar de reconhecer a importância de Duhem por seus numerosos trabalhos, apresenta-se como um dos maiores críticos da visão continuísta duhemiana.

Para ele, Duhem teria negado a ocorrência da revolução científica do século XVII:

(...) a aparente continuidade no desenvolvimento da física, da Idade Média aos tempos modernos (...). Seguramente, é verdade que uma tradição ininterrupta se faz presente desde as obras dos nominalistas parisienses até as de Benedetti, Galileu e Descartes (...). Porém, a conclusão que Duhem extrai daí é enganosa: uma revolução bem preparada não deixa de ser uma revolução (Koyré, 1991, p.156).

No entanto, a crítica de Koyré se refere ao período específico entre a ciência medieval e a ciência moderna e não exclui a admissão, por parte de Duhem, da ocorrência de uma revolução na história da ciência.

Desse modo, para Koyré o nascimento da ciência moderna está vinculado a uma mudança do pensamento científico. No entanto, para ele, isso não significa que os critérios de cientificidade estejam diretamente ligados à matematização ou à experimentação. Neste sentido, Koyré não define ciência com os mesmos critérios da atualidade, mas de acordo com a coerência conceitual de cada período histórico (BELTRAN, 2014). Portanto, Koyré refuta a ideia de que a ciência moderna nasce da experiência, como podemos ler no trecho abaixo:

Ora, se é numa linguagem matemática, ou mais exatamente geométrica, que a ciência clássica interroga a natureza, essa linguagem, ou mais exatamente, a decisão de a empregar –decisão que corresponde a uma mudança de atitude metafísica – não poderia, por sua vez, ser ditada pela experiência (KOYRÉ, 1992, p.16).

Por esse motivo Koyré interpreta que Galileu é o fundador da ciência moderna não por suas habilidades técnicas, como a reconstrução da Luneta, mas por ter refutado a teoria aristotélica e por sua elaboração teórica, permitindo que a geometria euclidiana pudesse ser aplicável.

Voltando a Duhem, podemos afirmar, em concordância com outros autores que apesar de, na época, terem sido muito contestadas as suas conclusões, os trabalhos de Duhem sobre as contribuições científicas no período medieval, enquanto precursoras das transformações científicas do século XVII, vieram revelar-se de grande importância para a posterior historiografia da Ciência (ALFONSO-GOLDFARB, 1994).

No final do século XIX surge Paul Tannery, engenheiro de formação e o historiador da ciência é um dos primeiros a assumir que:

Para ser um bom historiador da ciência, não basta ser cientista. Antes do mais é preciso querer dedicar-se à história, isto é, ter prazer nisso; é necessário desenvolver em si mesmo o sentido histórico, essencialmente diferente do sentido científico; finalmente é preciso adquirir inúmeros conhecimentos especiais, auxiliares indispensáveis para o historiador, mas absolutamente inúteis para o cientista que só se interessa pelo progresso da ciência( Tannery apud Fitas, 2011, p.15).

Paul Tannery tinha excelente formação científica e filosófica e vislumbrou a História Geral das Ciências considerando os fatores políticos e culturais. Ele também contribuiu para a consolidação dessa área de pesquisa na comunidade internacional. A partir de 1900, muitos dos congressos internacionais passaram a ter uma seção especializada em História das Ciências.

Em Roma, em 1903, Tannery propôs a criação de um comitê internacional, de uma Sociedade e de uma Revista destinados a assegurar a organização permanente desta área do conhecimento e, como aponta Fitas (2011, p.19), Paul Tannery fez parte do grupo que foi essencial para a institucionalização da história da ciência:

Foi só nos finais do século XIX, ou nos inícios do século XX, que a História das Ciências se definiu como disciplina: delimitaram-se os seus conteúdos, entendeu-se a sua especificidade, iniciou-se a sua afirmação institucional quer através do ensino superior quer pelo aparecimento de revistas que lhe foram consagradas, quer, ainda, pela sua introdução como tema em secções

dos congressos internacionais de ciências (de história?) e de filosofia. Foi já em pleno século XX, no período entre guerras, que a disciplina de História das Ciências se institucionalizou no seio da comunidade científica internacional (cientistas, historiadores e filósofos) através dos seus Congressos Internacionais de História das Ciências de onde emergiram algumas figuras determinantes na afirmação desta área do conhecimento. Foi também neste período que se lançaram as bases conceptuais que hão de permitir o desenvolvimento teórico desta área do conhecimento no pós segunda guerra mundial, ultrapassando-se as muitas memórias para passar a desenhar a sua história própria.

Ainda segundo Fitas, os trabalhos de Tannery foram continuados, após a primeira década do século XX, por Georges Sarton (1884-1956) e Aldo Mieli<sup>4</sup> (1879-1950), o primeiro belga e o segundo italiano, que vão ser os fundadores das duas primeiras grandes revistas internacionais de história da ciência. O primeiro funda, ainda em 1913, na Bélgica, a revista *Isis* que, posteriormente, passou a ser editada nos Estados Unidos da América, sendo atualmente o periódico mais antigo destinado a este domínio. Em 1919, Aldo Mieli fundou em Roma o *Archivio di storia delle scienze* que, em 1927 assumiu o título de *Archeon* até 1947. A partir de 1947 seu título se transforma no *Archives Internationales d'histoire des sciences*, publicação que ainda se encontra em plena atividade editorial.

Segundo Alfonso – Gooldfarb (2004), George Sarton foi o principal expoente para a institucionalização da história da ciência. Escreveu muitos livros, artigos e críticas, sendo o mais conhecido a obra *Introdução à História da Ciência (tradução nossa)*, que aborda desde Homero até o séc. XIV. De acordo com a autora, Sarton foi o grande responsável pelo estabelecimento acadêmico da história da ciência e desse campo de pesquisa na Universidade de Harvard, nos Estados Unidos. Além disso, ele foi também responsável pela organização da Sociedade Internacional de História da Ciência.

No entanto, o modelo de ciência de Sarton era baseado nas concepções epistemológicas positivistas da virada do século. Sarton seguia a mesma linha de pensamento de Ernst Mach e Pierre Duhem, ou seja, o desenvolvimento contínuo e acumulativo da ciência (GOLDAFARB, 2004, p. 50).

---

<sup>4</sup> Licenciado em Química e História.

Para ele, o objetivo da história da ciência era o de estabelecer a origem e o desenvolvimento das ideias e fatos científicos, trazendo a tona todas as mudanças realizadas ao longo do tempo pelo progresso da civilização. Em suas próprias palavras:

Nosso principal objetivo não é simplesmente registrar as descobertas isoladas, mas sim explicar o progresso do pensamento científico, o gradual desenvolvimento da consciência humana, aquela tendência deliberada para compreender e acrescentar nossa parte na evolução cósmica (SARTON apud BELTRAN, 2014, p. 33).

Na linha de pensamento de Sarton, somente havia a preocupação de estudar as grandes descobertas, os grandes feitos do passado. Assim, conhecimentos que foram importantes em determinada época e que descreviam uma determinada visão da natureza, mas que não fossem considerados corretos no presente era completamente ignorado pelos historiadores do início do século XX. A alquimia e a magia natural, por exemplo, que foram importantes para o desenvolvimento da ciência, não tinham espaço na história da ciência, por serem consideradas pelos historiadores dessa época, como pseudociência (BELTRAN, et al, 2014, p. 34).

Cabe destacar que para Sarton as ciências mais importantes eram a Astronomia, a Física e a Matemática. Em sua escala de importância, estas últimas seriam seguidas pela Química e por fim, as ciências da vida. A Medicina não se enquadrava, pois ele a via como uma prática e não como uma ciência.

O modelo historiográfico continuísta, que obrigava a ciência a olhar o passado com os olhos do presente e selecionar apenas o que havia permanecido, é anacrônico, pressupondo que todo o conhecimento passado objetivava o presente (GOLDAFARB, et.al, 2004). Neste aspecto, desconsidera-se todo o complexo processo de desenvolvimento científico. Esta perspectiva historiográfica continuísta se manteve e tornou-se hegemônica no início do século XX. A partir da década de trinta, esse modelo sofreu fortes abalos. Dentre outros Beltran et.al (2014), Boris Hessen (1893 – 1936), que passou a considerar os aspectos social e político e de Gaston Bachelard (1884 – 1962), que indicou rupturas no desenvolvimento científico, contestam o modelo de Sarton.

Em 1931, no *Science Museum* em Londres, foi realizado o *II Congresso Internacional de História da Ciência e da Tecnologia*. Neste congresso compareceu Boris Hessen (1893 – 1936), diretor do Instituto de Física de Moscou, que apresentou

um artigo intitulado “As Raízes Socioeconômicas da Mecânica de Newton”, onde desmistificava a genialidade de Newton, afirmando que seus estudos foram conduzidos pela necessidade de sua época, como podemos ler no fragmento abaixo:

Comparamos os principais problemas técnicos e físicos deste período com a temática das investigações em física no mesmo período e chegamos à conclusão de que a temática dos problemas de física era principalmente determinada pelas necessidades econômicas e técnicas que a burguesia ainda incipiente punha em primeiro plano” (Hessen 1931 apud Fitas 2011, p.22).

Portanto, vemos que Hessen analisou a obra de Newton tendo em vista o contexto socioeconômico da Inglaterra da sua época. Em sua tese, a originalidade estava em apontar causas históricas, os fatores sociais que determinavam que esse acontecimento científico tivesse ocorrido num contexto cultural próprio não só dependente dos fatores internos da ciência.

Foi a partir de então, ainda antes da segunda guerra mundial, que se deram passos decisivos no aprofundamento conceitual dos instrumentos metodológicos da história da ciência.

Trazendo essa discussão para o âmbito do Ensino de Ciência refletimos, através do exposto acima, sobre a necessidade de olharmos com mais atenção para a história da ciência e não a entendermos como um acessório de leitura suplementar. Mas qual história da ciência é mais adequada ao ensino? Assim, procuramos também estabelecer na próxima seção, em certa medida, os diferentes tipos de abordagens historiográficas caracterizando-as para que possamos eleger àquela que melhor se ajusta com os objetivos propostos neste trabalho.

#### **1.4 História da Ciência no cenário da educação científica**

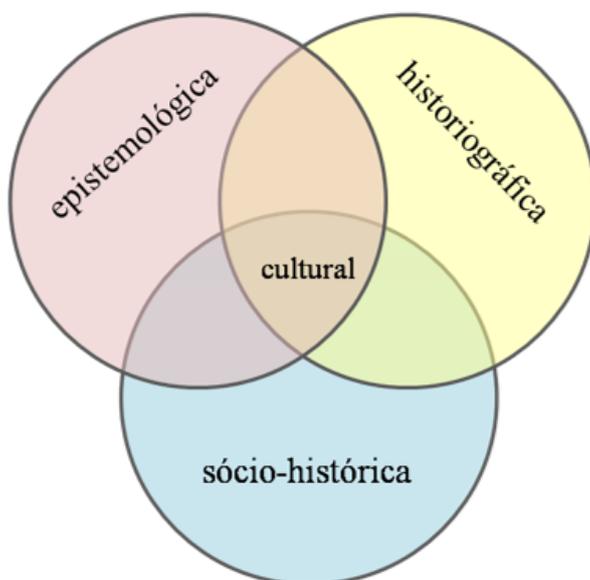
A importância da história da ciência para uma educação científica de qualidade tem sido frequentemente defendida na literatura (ZANETIC, 1989; MATTHEWS, 1992, 1994, 2000; DRIVER et al. 1996; MONK & OSBORNE 1997; MACCOMAS et al. 1998; FREIRE Jr. 2002; FORATO, 2009).

No entanto, devemos destacar que o interesse de interfaces entre história da ciência e ensino não tem sido considerado somente por educadores, mas também por historiadores da ciência. A principal revista da área em história da ciência publicou

recentemente um artigo intitulado “*A educação em ciências precisa da História da Ciência*”?<sup>5</sup>

Desse modo, desde sua institucionalização no início do século XX, a história da ciência demonstra vocação interdisciplinar para promover a interface entre as ciências humanas e a Educação e as ciências naturais exatas. (ALFONSO – GOLDFARB, 2003)

Além disso, como já mencionamos anteriormente, a partir da década de 30, principalmente na segunda metade do século XX, as mudanças nas perspectivas historiográficas contribuíram para a definição interdisciplinar dessa área.



**Figura 1** - Fonte: adaptado de Alfonso - Godfarb (2008, p.5-9)

Como resultado, as pesquisas mais atuais em história da ciência renovaram seus pressupostos e suas propostas historiográficas nos últimos anos e norteiam-se por abordagens e metodologias em três esferas como apontou Alfonso-Goldfarb (2008) no Seminário Internacional de História da Ciência: a esfera epistemológica, historiográfica, sócio-histórica e cultural.

E, a nosso ver, é na intersecção dessas três esferas (figura. 1) que podemos vislumbrar a Ciência como cultura.

---

<sup>5</sup> Citado em Beltran et. al, História da Ciência e Ensino, p.102, 2014.

No esquema acima de análise (figura1), percebe-se que o campo interdisciplinar da história da ciência pode ser definido como um ponto de intersecção entre a Filosofia (epistemologia), a Sociologia e a História. Segundo Beltran (2014), a partir da confluência entre esses três campos distintos de conhecimento, pode-se estabelecer interfaces com tendências pedagógicas, o que origina um novo campo de pesquisa e de abordagens: o campo interdisciplinar História da Ciência e Ensino, onde se situa o presente trabalho.

Nesta direção, podemos considerar que esse campo interdisciplinar se fundamenta em bases epistemológicas como afirma Beltran (2017, p.33), pois as interfaces *“se dariam por meio das concepções, transformação e comunicação de conhecimentos científicos e técnicos ou tecnológicos, no campo da História da Ciência e no campo da educação”*.

No caso da área de ensino de ciências concordamos com Beltran (2014, p.103) e colaboradores quando afirmam que:

(...) o planejamento de cursos e sequências didáticas para colocar em prática intenções e recomendações sobre o uso da História da Ciência no ensino constitui uma empreitada bastante complexa, já que compreende a construção de interfaces ente pelo menos duas áreas distintas: elas próprias interdisciplinares.

Desse modo, para a concretização de uma possível interface entre ensino e história da ciência deve-se localizar uma confluência entre essas áreas de saber, para que se possa estabelecer uma relação entre esses campos. Como afirma Alfonso-Goldfarb (2002, p.63):

devo desencapar a malha analítica metodológica de minha ciência de origem e ver de que maneira posso conectar os fios ali encontrados com os de outras teorias, que estabeleçam interface com meu objeto de estudo. As conexões desses vários fios através de várias malhas relacionadas me levariam a observar um mesmo objeto de estudo em níveis diferentes.

Nesta perspectiva, temos na concepção de conhecimento um ponto em comum entre a história da ciência e a pesquisa em ensino. E a partir desta interface podemos identificar algumas perspectivas historiográficas que se alinham com a visão tradicional de ensino de Física.

Para essa discussão, voltemos ao início das primeiras décadas do século XX. Nesta época o sistema educacional brasileiro se organizava com a criação do Ministério

da Educação e da Saúde (1931), consolidava-se a ideia central que os indivíduos ignorantes eram transformados em indivíduos esclarecidos pela escola.<sup>6</sup>

Dessa forma, na escola tradicional, a concepção de educação era fundamentada no pressuposto de que a mente do estudante é uma “tabua rasa” que será preenchida pelos conhecimentos transmitidos pelo professor. Essa visão de educação na concepção freiriana é o que o autor denominou de “educação bancária”, que assume o conhecimento “como uma doação dos que se julgam sábios”. (FREIRE, 2005, p.67)

Desse modo, podemos observar uma estreita relação entre as perspectivas historiográficas da história da ciência que prevaleciam na primeira metade do século XX, no que se refere ao conhecimento com a concepção de ensino que se praticava na educação brasileira. (BELTRAN, 2009; BELTRAN et al., 2010). Ainda de acordo com Beltran (2014, p. 106) e seus colaboradores, os manuais didáticos também refletiam a mesma visão positivista, destacando aspectos como: visão da história da ciência linear e progressiva, ciências físicas (mecânica) como modelo de ciência, estudo do passado com o olhar do presente, consagração de “precursores” ou “pais” das ideias científicas do presente e uma clara distinção entre ciência e pseudociência.

Em relação aos manuais didáticos atuais, pesquisas apontam que ainda hoje prevalecem uma história da ciência que traz biografias e feitos de homens da ciência, sem uma contextualização no qual se desenvolveu esse conhecimento. (SANTOS, 2015, PORTO, 2010).

Portanto, cabe aqui fazer uma breve consideração acerca do papel do livro didático no contexto escolar atual, considerando que o trabalho do professor na escola básica tem esse material como principal referência (HOTECKE, SILVA, 2011; MARTINS, R. 2006a).

Neste sentido, o governo Federal criou o Guia do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). De acordo com o Fundo Nacional de desenvolvimento da Educação (FNDE) a gestão pedagógica e os professores devem analisar os livros que chegam nas escolas com base nesse guia para escolher o livro que será adotado no período de três anos.

---

<sup>6</sup>Saviani, História das ideias Pedagógicas no Brasil. Campinas: Autores Associados, 2007.

Destacamos algumas categorias de análise criadas pelo guia do PNLD 2012 que se referem as visões de ciência e de história que devem ser contempladas na obra:

- Abordagens do processo de construção das teorias físicas, sinalizando modelos de evolução dessas teorias que estejam em consonância com vertentes epistemológicas contemporâneas;
- Uma visão de experimentação afinada com a perspectiva investigativa, mediante a qual os jovens são levados a pensar a ciência como um campo de construção de conhecimento, onde se articulam, permanentemente, teoria e observação, pensamento e linguagem;
- Conteúdos da Física contextualizados em relação à aspectos sociais históricos, culturais e econômicos, e em relação àqueles do cotidiano em que suas utilizações se façam pertinentes.
- Tratamento da história da ciência integrado à construção dos conceitos desenvolvidos, evitando resumi-la a biografias de cientistas ou a descobertas isoladas.<sup>7</sup>

Mas, apesar dos critérios acima, a literatura especializada aponta que na aproximação da história da ciência com o ensino, há uma carência de material adequado que trabalhem a ciência na perspectiva histórica nos livros textos (HOTTECKE, SILVA, 2011; HOTECKE, HENKE, RIESS, 2010). De acordo com Bastos (2009, p.49):

os textos de História da Ciência disponíveis para consulta dificilmente se adaptam as necessidades específicas do ensino de Ciências no ensino fundamental e médio, talvez porque não reúnam simultaneamente, de modo sintético e numa linguagem acessível, os diferentes aspectos que o professor pretende discutir em sala de aula.

A nosso ver, essa problemática é muito mais complexa, e não se trata apenas da inclusão isolada da história da ciência, ou mesmo de instrumentalizar o professor para subsidiar sua prática com um material histórico adequado.

---

<sup>7</sup> BRASIL, PNLD 2012, 20-22

Como pesquisadores e professores da escola básica, observamos que muitos de nossos colegas professores tem preferência por livros que abordam o conteúdo de Física de forma tradicional, apresentando apenas o produto da ciência e suas fórmulas.

Nota-se, desta forma, que há um obstáculo bastante importante a ser superado para a aproximação da abordagem histórica na sala de aula: a própria resistência dos professores em mudar suas práticas. Como consequência, temos ainda a visão positivista da ciência sendo aceita pelos professores e, conseqüentemente, propagada para os estudantes.

Neste aspecto, acreditamos que principalmente a própria representação que o licenciando ou professor tem com seu saber de referência, influi fortemente na sua prática pedagógica. No caso das escolas públicas existe ainda mais um agravante, posto que muitos professores que lecionam física ou outras ciências não tem formação específica na área.

Embora fuja ao escopo deste trabalho a questão de formação dos professores, concordamos com Matthews (2005) *apud* Martínez e Guillaumin (2005) quando destacam três pontos que a prática profissional do professor de Ciências deveria satisfazer:

- Ser uma reflexão de tipo epistemológica, ambientada na História da Ciência e advertida pela Sociologia da Ciência, contra o dogmatismo e o triunfalismo do relato positivista tradicional;
- Construir uma imagem da Ciência realista e racionalista moderada, dando destaque às metas intelectuais e materiais das Ciências naturais sem subtrair da discussão suas limitações e seus aspectos éticos ou “humanos”;
- Articular os conteúdos disciplinares, pedagógicos e didáticos que os professores recebem no percurso de sua formação inicial e de sua prática docente.

Em suma, é preciso que o professor não apenas ensine Ciências, mas também tenha uma postura reflexiva e crítica sobre o que é a Ciência.

Na escola tradicionalmente, ainda está arraigada uma visão cumulativa e linear da ciência. Assim, a ciência é tida como algo pronto, acabado passível de ser

transmitido. Inicialmente neste capítulo, discorreremos sobre algumas tendências historiográficas que mostravam uma organização de teorias científicas a partir do passado, as quais teriam evoluído até chegarem às ideias científicas do presente. (BELTRAN, 2009; BELTRAN et al., 2010). Essa tendência também é sentida nas abordagens da História da Ciência na escola. Retomemos brevemente algumas dessas características historiográficas:

- Visão da história da ciência como um processo linear e progressivo;
- Estudo do passado, selecionando apenas teorias que permaneceram no presente;
- Tomando como base as ideias científicas do presente, buscase explicar os “erros” e “acertos” das teorias do passado;
- Supervalorização de “precursores” ou “pais” das ideias científica do presente;
- Estabelecimento de fronteira rígida entre ciência e pseudociência.<sup>8</sup>

Nossa experiência na escola brasileira, seja em nossa vivência como estudantes, seja em nossa atividade como professores ou pesquisadores em ensino de Física, nos leva a considerar que a história da ciência continua ausente das aulas de Física e quando comparece nos livros didáticos é uma história da ciência caricata, endeusando cientistas como gênios isolados da sociedade.

Desse modo o que observamos ainda, é uma estreita relação entre as perspectivas historiográficas da história da ciência que prevaleciam na primeira metade do século XX, no que se refere à concepção do conhecimento com a concepção de ensino que se prática na educação brasileira (BELTRAN, 2009; BELTRAN et al., 2010).

---

<sup>8</sup> Alfonso-Goldfarb, Ferraz & Beltran.”A historiografia Contemporânea e as Ciências da Matéria”. pp.49 -73.

Historiando o tema, esse tipo de abordagem no ensino tem acontecido desde as primeiras décadas do século XX, mas somente ao final da década de 40, as experiências começam a ter maior repercussão.

No final nos anos 40, o químico e educador James Bryant Conant introduziu na educação em ciências o estudo de certos episódios da história da ciência, que ficaram conhecidos como: *History of Science Cases*. Conant tinha a ideia de que esses casos históricos que abordavam como a ciência se desenvolvera poderiam auxiliar na compreensão de sua natureza (WANG e MARSH, 2002).

Conant havia desenvolvido essa abordagem durante o período em que foi pró-reitor geral da graduação em Harvard e se tornou popular através de uma série de relatórios oficiais e best-sellers de bolso dentre os quais destaca *compreendendo a ciência: uma abordagem histórica* (1947). Sua obra em dois volumes, *Estudo de Casos de Harvard* sobre história nas ciências experimentais (tradução nossa), tornou-se o livro texto de muitos cursos de ciências. Ainda nesta mesma década é lançado o livro *Physics, the pionner science*, destinados ao ensino médio e apresentando a Física na perspectiva histórica.

Nas décadas de 50 e 60, Gerald Holton, em colaboração com Stephen Brush, Fletcher Watson, James Rutherford e outros, desenvolveram o Projeto de Física de Harvard para escolas secundárias. O Projeto de Física de Harvard, como ele foi nomeado, foi o esforço mais significativo no sentido de incorporar a história da ciência no ensino de Física (MATTHEWS, 1995).

Este projeto surgiu de certa forma em oposição ao *Physical Science Study Commitee – PSSC*, um trabalho educacional voltado para a formação de futuros cientistas, influenciado pela competição entre os Estados Unidos da América e a União Soviética no campo da ciência na segunda metade da década de 50. Segundo Beltran (2014, p 108) o PSSC foi uma reação dos Estados Unidos da América devido ao sucesso do lançamento do satélite Sputnik pela antiga União Soviética, em 1957.

O PSSC tinha seus livros textos acompanhados com o manual do professor, que foram elaborados para cada uma das disciplinas das ciências naturais: PSSC para Física, *Biological Sciences Curriculum Study* (BSCS) para Biologia, *Chemical Education Material Study (Chem Study)* e *Chemical Bound Approach* (CBA) para

Química etc. A visão de ciências que se apresentava era a da ciência neutra, ou seja, fundamentado na ideia da existência de um método científico objetivo e certo.

Já o Projeto de Física de Harvard, que em seu auge atingiu 15% dos alunos de 1º e 2º graus nos Estados Unidos, defendia o currículo escolar de ciências fundamentado em princípios históricos e preocupado com as dimensões cultural e filosófica da ciência.

Stephen G. Brush é outro nome que contribui muito para a discussão da abordagem histórica da ciência (CASTRO, 2016). Ele afirma que:

A História, quando introduzida inteligentemente num curso de Ciências, pode aumentar a compreensão da Ciência, dos cientistas e do papel deles na sociedade, sem diminuir a importância do conteúdo científico transmitido aos alunos (BRUSH apud CASTRO, 2016, p. 32).

Brush é quem vai apontar a dimensão crítica que a abordagem histórica pode introduzir no ensino de Ciências, desmistificando estereótipos como linearidade e a verdade absoluta como características do fazer científico.

Como podemos observar são muitos os argumentos favoráveis a abordagens históricas no ensino de ciências cujas raízes já são encontradas desde o século XIX (OKI, 2006).

Atualmente temos uma vasta literatura apontando os benefícios da abordagem histórica tanto na formação de professores como de estudantes. (MATHEWS, 1995; ALLCHIN, 1995; CARVALHO e VANUCCHI 2000; FORATO 2009; GATTI, SILVA e NARDI, 2011; ADURIZ-BRAVO, 2012, entre outros). Esses estudos enfatizam também a importância de se considerar a pesquisa sobre a história da ciência na educação científica.

Freire (2009) e colaboradores fizeram um levantamento sistemático, procurando mapear o panorama geral das pesquisas em história da ciência e como resultado obtiveram que somente 87% dos trabalhos publicados sobre essa temática em

importantes revistas da área<sup>9</sup> não tratam de pesquisas empíricas, que contemplem a sala de aula.

Ainda segundo Freire, resultados semelhantes foram encontrados no âmbito internacional. Dessa forma, são ainda poucos os trabalhos publicados, que contemplem e mostrem resultados que envolvem intervenções didáticas no contexto escolar.

Isso evidencia a importância de se realizar pesquisas que possam subsidiar as alterações e reestruturações nas salas de aula, visando contemplar a história da ciência.

### **1.5 História da Ciência: Algumas Considerações educacionais**

Continuamos esta discussão com a seguinte questão: Qual o papel da ciência na formação básica? Essa pergunta se faz muito importante considerando a visão de ciência que pode estar presente na sala de aula. Assim, como resposta à questão anteriormente proposta, Zanetic (1991) estabeleceu um conjunto de dimensões que, em sua concepção, seriam importantes, ou mesmo indispensáveis, ao ensino de ciências para a formação de um cidadão contemporâneo. Reproduzimos as dimensões:

- i. vivemos numa época fortemente influenciada/determinada pela ciência; é o “*homo scientificus*”, categoria aparentemente superior do “*homo sapiens*”;
- ii. a natureza é basicamente explicada pela ciência, isto é, esta permite um diálogo inteligente com aquela;
- iii. a tecnologia, presente na nossa realidade, é fortemente lastreada na ciência;
- iv. os métodos científicos podem ser facilmente transferíveis para outras atividades humanas;
- v. a ciência favorece o discurso racional, da razão;

---

<sup>9</sup> Ciência & Educação(C&E), Investigações em Ensino de Ciências (IENCI), Caderno Brasileiro de Ensino de Física(CBEF), Revista Brasileira de Ensino de Física(RBEF), Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC) e Enseñanza de las Ciencias (Enz)

- vi. a ciência permite um diálogo com o cotidiano vivenciado;
- vii. a ciência enriquece e promove a imaginação;
- viii. a ciência desperta a observação cuidadosa do trabalho com a experimentação;
- ix. a ciência promove o pensamento crítico;
- x. a ciência favorece a luta pela transformação social;
- xi. a ciência... tem 1001 utilidades.

Concordamos com Zanetic (1991, p. 5) quando ele afirma que se em sua lista estivesse o papel da ciência para realizar os exames vestibulares este seria o único item contemplado nas salas de aulas. Nossa experiência como professores corrobora esta afirmação. Em nossas escolas ainda prevalece um ensino de Física “formulista”, que visa apenas a resolução de exercícios para a realização de provas e para o vestibular.

Não obstante, as linhas mais contemporâneas de ensino das ciências, as Orientações Curriculares para o ensino médio sinalizam:

Partimos da premissa de que no Ensino Médio não se pretende formar físicos. O ensino dessa disciplina destina-se principalmente àqueles que não serão físicos e terão na escola uma das poucas oportunidades de acesso formal a esse conhecimento. Há de reconhecer, então, dois aspectos do ensino de Física na escola: A Física como cultura e como possibilidade de compreensão do mundo (BRASIL, 2000)

Entendida como cultura, a ciência amplia a compreensão do mundo. Neste sentido, é necessário que os estudantes tenham acesso a muito mais do que um enunciado de fórmulas incompreensíveis unidos a conceitos abstratos.

Concordamos que alguns aspectos dos processos que envolvem a construção do conhecimento científico devem ser abordados pela educação científica na escola básica (ABD-EL-KHALICK; BELL e LEDERMAN, 1998). Fazendo uma simples analogia, seria como tentar ensinar um estudante tocar piano sem que este tivesse acesso ao aprendizado das notas musicais e suas relações com a harmonia da música. Assim, no caso da ciência, o professor deve promover discussões que favoreçam o acesso dos estudantes às práticas científicas e à forma dessa área construir o conhecimento. (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000).

Isso não significa, obviamente, que a Física não deva ser ensinada e tratada pelo professor da escola de forma criteriosa. É preciso ensinar os processos específicos da ciência e do fazer científico, ou seja, ensinar “como as coisas funcionam” e os seus processos de investigação:

(...) o que a Física deve buscar no Ensino Médio é assegurar que a competência investigativa resgate o espírito questionador, o desejo de conhecer o mundo em que se habita, Não apenas de forma pragmática, como aplicação imediata, mas a compreensão do mundo, a fim de propor novas questões e, talvez, encontrar soluções (BRASIL, 2006).

Portanto, não interessa que o aluno aprenda apenas os conceitos da Física, mas que tenha uma compreensão das práticas que envolvem esse conhecimento. Para tal, é fundamental que compareçam no ensino dessa disciplina, elementos históricos e estéticos bem como os elementos culturais que se relacionam com o conhecimento físico.

Nesta perspectiva, deseja-se despertar nos estudantes a capacidade de perceber que a Física está presente em diversas áreas da cultura. Na literatura especializada temos alguns trabalhos que corroboram esta importante interface a começar pela tese do professor João Zanetic, que inspirara tanto este trabalho como outros sobre esta mesma temática. (AMARAL, 2003; LEITE 2003; OLIVEIRA 2004; DEYLLLOT 2005; SILVA 2006; PIASSI E PIETROCOLLA 2007; GUERRA e BRAGA, 2011).

Assim, como professores, devemos estar comprometidos com o ato de ensinar que impõe não somente ensinar conteúdos, mas também ensinar a “pensar certo.” Sobre isso, já nos alertava Paulo Freire, quando escreve:

(...) pensar certo tanto implica o respeito do senso comum no processo de sua necessária superação, quanto o respeito e o estímulo à capacidade criadora do educando. “Implica o compromisso do educador com a consciência crítica do educando, cuja promoção da ingenuidade não se faz automaticamente”. Por isso mesmo pensar certo coloca o professor ou, mais amplamente à escola, o dever de não só respeitar os saberes com que os educandos, sobretudo os das classes populares, chegam a ela saberes socialmente construídos na prática comunitária – mas também, como há mais de trinta anos vem sugerindo, discutir com os alunos a razão de ser de alguns desses saberes em relação com o ensino dos conteúdos (FREIRE, 1996; p.30).

Segundo Freire (1987), o professor democrático deve, na sua prática docente, reforçar a capacidade crítica do estudante, sua curiosidade, sua insubmissão. Portanto, o educador que possibilita a seu estudante ser cada vez mais criador e mais crítico em seu aprendizado poderá desenvolver neste a curiosidade epistemológica.

A “curiosidade epistemológica” tem papel significativo no processo ensino-aprendizagem, pois segundo Freire (2003, p.78):

Não é a curiosidade espontânea que viabiliza a tomada de distância epistemológica. Essa tarefa cabe à curiosidade epistemológica – superando a curiosidade ingênua, ela se faz mais metodicamente rigorosa. Essa rigorosidade metódica é que faz a passagem do conhecimento do senso comum para o do conhecimento científico. Não é o conhecimento científico que é rigoroso. A rigorosidade se acha no método de aproximação do objeto. A rigorosidade nos possibilita maior ou menor exatidão no conhecimento produzido ou no achado de nossa busca epistemológica.

Para Freire também o diálogo entre professor e estudantes é fundamental para o desenvolvimento da “curiosidade epistemológica”. Para trabalhar a “curiosidade epistemológica” somos desafiados como educadores a criar condições de refletir sobre a própria prática, conscientizando-nos de que o processo de ensinar não é só transmitir conhecimentos, mas sim criar possibilidades para a sua produção e significação.

Por outro lado, a nossa prática e vivência no contexto escolar nos mostra que nos dias de hoje a física escolar distancia e afasta os estudantes da ciência e como resultado temos um crescente desinteresse por parte dos estudantes por essa disciplina. Nosso sistema educacional não está distante, portanto de obstáculos apontados por Émile Durkheim quando escreveu sobre o sistema educacional francês, ainda no final do século XIX:

O ensino secundário está atravessando, há meio século, uma crise que ainda não chegou à sua conclusão e parece estar longe disso. [...] por toda parte, pedagogos e homens do Estado estão conscientes de que as mudanças ocorridas na estrutura das sociedades contemporâneas, em sua economia interna, bem como nas suas relações externas, necessitam transformações paralelas e não menos profundas nessa parte especial de nosso organismo escolar. [...] (Durkheim 1895 apud Gebara, 2001, p. 25).

Apesar do texto de Durkheim ter sido escrito há mais de um século, ele ainda é atual e universal, pois usualmente na escola, o ensino reforça a ideia de uma ciência pronta, acabada e muito acima da compreensão dos “meros mortais”, acessíveis somente à gênios, como Newton ou Einstein. Desse modo, sem intenção, o professor de ciências, muitas vezes, reforça essa visão (LENKE, 1997).

Como já discutimos anteriormente neste trabalho, os livros-textos também podem reforçar essa concepção ao privilegiar uma visão meramente instrumental da ciência. Em sua linguagem simbólica, os manuais didáticos apresentam aos estudantes o paradigma dominante, fazem breves citações históricas aos temas abordados, priorizam

fatos e acontecimentos. Com isso, o estudante em geral não percebe a construção do conhecimento científico, o que pode gerar uma insatisfação e falta de interesse dos estudantes pelas ciências.

Em síntese, podemos inferir que a maior parte dos estudantes vê a ciência como descoberta ignorando todo o complexo processo de seu desenvolvimento. Assim muitos estudantes permanecem com a percepção de que a ciência se resume somente a descoberta de leis e relações matemáticas que regulam o universo.

Defendemos que essa situação pode ser minimizada ao se colocar em prática um dos objetivos do Ensino de Ciências, ou seja, trazer para as salas de aula discussões sobre as práticas do fazer científico, de forma a explorar os limites e as possibilidades desse conhecimento.

Em abril de 2009 o Programa Ensino Médio Inovador da Secretaria de Educação Básica do MEC, ampliou as discussões estabelecendo que a respeito dessa temática:

(...) o Ensino Médio deverá se estruturar em consonância com o avanço do conhecimento científico e tecnológico, fazendo da cultura um componente da formação geral, articulada com o trabalho produtivo. Isso pressupõe a vinculação dos conceitos científicos com a prática relacionada à contextualização dos fenômenos físicos, químicos e biológicos, bem como a dicotomia entre humanismo e tecnologia e entre a formação teórica geral e técnica instrumental (BRASIL, 2009).

Do exposto acima, pretende-se que o estudante tenha condições de adquirir uma cultura científica que lhe permita atuar no mundo contemporâneo de forma consciente e crítica (MATTHEWS, 1994; MCCOMAS, 2008).

Desse modo, o conhecimento da história da ciência pode contribuir para que se reflita sobre o processo de construção do conhecimento científico, como um processo não cumulativo, dinâmico, inacabado e integrado à outras áreas do saber (MARTINS; SILVA, 2006; PEDUZZI, 2001). Segundo Guerra et al (1994, p.36):

É importante chamar a atenção para a questão da neutralidade da ciência.[...] Toda esta visão de neutralidade deve ser questionada junto aos alunos, uma vez que é falsa e inibidora do pensamento científico.

Carvalho e Vannucchi (2000), no mesmo sentido, reportam que a história e a filosofia da ciência podem influenciar de forma positiva a educação científica, pois,

discussões histórico-filosóficas contribuem para o desenvolvimento de habilidades cognitivas e da argumentação.

Assim, é necessário também que o professor organize o trabalho em sala de aula de modo a estabelecer um ambiente favorável ao diálogo, levando os alunos a elaborarem perguntas que gerem ideias, a novos questionamentos e à reelaboração de significados. Para tal, são necessárias estratégias que possam subsidiar o desenvolvimento da criatividade e do senso crítico. Assim, Sasseron e Carvalho (2011) defendem que o ensino de Ciências deve fazer uso de atividades e propostas instigantes. Segundo as autoras:

É necessário, a nosso ver, desenvolver atividades que, em sala de aula, permitam argumentações entre alunos e professor em diferentes momentos de investigação e do trabalho envolvido. Assim, as discussões devem propiciar que os alunos levantem hipóteses, construam argumentos para dar credibilidade a tais hipóteses, justifiquem suas afirmações e busquem reunir argumentos capazes de conferir consistência a uma explicação para o tema sobre o qual se investiga.

Além disso, análises de narrativas históricas acerca do desenvolvimento da ciência também podem ser úteis para identificar características essenciais dessa atividade humana. Por fim, as autoras argumentam ainda que a história e a filosofia da ciência podem ajudar a desmistificar a ciência por propiciar uma visão mais realista do potencial e das limitações do conhecimento científico, o que é essencial na atual sociedade. Portanto, também o contexto político-social deve ser levado em conta no estudo de Ciências e a análise histórica desses contextos permite esclarecer os conceitos trabalhados em sala de aula, que nem sempre são óbvios na visão do aluno (Amaral, 2003).

Neste sentido, a história da ciência como prática de ensino deve possibilitar reflexões e discussões críticas e argumentativas pelos estudantes.

E, as atividades que têm como eixo norteador um contexto cultural, instrumentalizam os estudantes para compreenderem aspectos que contradizem a visão dogmática do conhecimento pautada em pressupostos segundo os quais a sua origem está somente na observação e experimentação (visão empirista); seu desenvolvimento se dá em um progresso contínuo e linear do conhecimento científico; e o seu funcionamento se legitima pela neutralidade do cientista, portadora de um raciocínio lógico-matemático, que a partir dos dados observados descobre uma teoria.

A nosso ver, narrativas históricas que problematizem os aspectos citados acima, possibilitam que os estudantes percebam o caráter provisório do conhecimento científico. Desse modo, destaca Zanetic (1989) que:

[...] A recuperação da física enquanto uma área que tem muito a contribuir na formação cultural geral do cidadão contemporâneo[...] Ao lado do algoritmo, da aplicação na solução de determinados problemas importantes, (por exemplo, a física das coisas), a história da física oferece o aspecto dinâmico de uma área de conhecimento em evolução e/ou mudança.

No XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), realizado em janeiro de 2015 em Minas Gerais, o professor João Zanetic volta a proferir uma palestra intitulada “*O Ensino de Física na Sociedade Contemporânea*”. Nesta palestra, a história da ciência como elemento problematizador no viés cultural é a base da argumentação de Zanetic. Como fica evidente no trecho de sua fala reproduzido a seguir:

(...) Para tanto, iniciarei esta breve narrativa com trechos do texto De Caelo(Sobre os céus) de Aristóteles (384 -322 AC), escrito em 350 AC, dedicado às suas propostas cosmológicas e astronômicas. Se pensarmos num **ensino de física** que busque mostrá-la como uma **construção cultural** com rica dinâmica de ideias, creio que é salutar citarmos alguns trechos bem interessantes, mesmo para um jovem curioso dos nossos tempos (...) Notamos, assim, como um interesse por temas cosmológicos, que ganharam notoriedade tem uma longa história, se nos basearmos, por exemplo, na concepção de recorrência histórica de Gaston Bachelard (...).(ZANETIC 2015, p. 6, grifo nosso).

Como já explicitado, ao longo do presente texto, defende-se neste trabalho que a história da ciência no ensino de ciência é um elemento fundamental para uma educação científica cultural. O trecho extraído de Matthews (1995) e reproduzido a seguir também sintetiza muitas das ideias defendidas por nós:

A tradição contextualista assevera que a História da Ciência contribui para o seu ensino por que: (1) motiva e atrai os alunos; (2) humaniza a matéria; (3) promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento; (4,) há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na História da Ciência – a Revolução Científica, o darwinismo etc.;(5) demonstra que a Ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que (6) que se opõem a ideologia científicista; e, finalmente, (7) a história permite uma compreensão ,ais proficua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente (MATTHEWS, 1995, p. 172-3).

Vimos também que muitas vezes o material histórico disponível para os professores, em livros didáticos e paradidáticos, reforça concepções empírico-indutivistas da ciência. Por isso o historiador da ciência e Físico Roberto Martins ao

analisar episódios que reforçam visões caricatas ou empírico-indutivistas, como o caso *A Maçã de Newton* (MARTINS, 2006b) e *O episódio de Arquimedes e a coroa do rei* (MARTINS, 2000a), nos alerta para o perigo de se disseminar a ideia de uma ciência constituída de verdades irrefutáveis e “grandes gênios”.

Referenciados em Allchin (2004), Martins (2006), Vidal e Porto (2012), entre outros autores, defendemos que seria mais profícuo trabalhar na escola um único estudo de caso, de forma mais aprofundada, do que na perspectiva de uma abordagem superficial com um amontoado de datas e nomes.

Neste aspecto vemos de forma crítica embora a Proposta Curricular de 1998 do Estado de São Paulo e o Guia do Programa Nacional do Livro Didático, pois embora tenham fundamentados em perspectivas historiográficas recentes, seus materiais didáticos propostos para uso de professores e estudantes persistem em narrar uma história da ciência linear e cumulativa. Além disso, estão repletos de anacronismos que não contribuem para uma compreensão conceitual mais crítica da ciência (HOTTECKE, SILVA, 2011; MARTINS, R. 2006 a).

Por outro lado, por mais criteriosa que sejam as propostas para a abordagem da história da ciência, se os professores não estiverem preparados para trabalhar com tais propostas, elas pouco poderão contribuir para a educação científica crítica.

A respeito da aproximação entre a História da Ciência e a educação científica, ainda é preciso destacar que, apesar da relevância da aproximação entre História da Ciência e Ensino não ser um consenso (RUFATTO; CARNEIRO, 2011, p. 30), ela tem ganhado adesão crescente de educadores e pesquisadores da área de Ensino de Ciências.

Na próxima seção apresentamos uma síntese de alguns argumentos a favor da história da ciência, bem como desafios e argumentos favoráveis e contrários a sua inserção nas aulas de ciência.

## **1.6 Uma historiografia didática**

Nos itens anteriores nos referimos a muitos estudos e propostas a nível nacional (BARTH, 2000; ALMEIDA 2004b; BASTOS; KRALSICHIK, 2004; GUERRA et al. 2004; HULSENDERGER, 2007; FORATO et al 2011) e internacional

(SEKER, 2008;CAVICCHI,E.2008,CHANG,2011) que têm como tema a inserção da história da Ciência no ensino de ciências.

O fundador da *Science & Education*, Michael Mathews, sintetiza diversos argumentos favoráveis à inclusão do componente histórico:

- A História promove melhor compreensão dos conceitos científicos e métodos;
- Abordagens históricas conectam o desenvolvimento do pensamento individual com o desenvolvimento das ideias científicas;
- A História da Ciência é intrinsecamente valiosa. Episódios importantes da História da Ciência e Cultura – a revolução científica, darwinismo, a descoberta da penicilina, etc. – deveriam ser familiares a todo estudante;
- A História é necessária para entender a natureza da ciência;
- A História neutraliza o cientificismo e dogmatismo que são encontrados frequentemente nos manuais de ensino de ciências e nas aulas (Mathews, 1994, p.50).

A concordância com todos os aspectos acima relacionados por Mathews, nos coloca diante do desafio de tentar levar a história e filosofia da ciência para o contexto do ensino básico de Física de maneira a favorecer uma aprendizagem significativa.

Ampliando ainda mais o nosso olhar para o significado do ensino de física na educação básica, salientamos que a física é uma ciência de inegável beleza intrínseca, cujos conceitos e teorias vêm, ao longo da história, sofrendo influência e, ao mesmo tempo, causando consideráveis mudanças no cenário cultural. Importantes escritores, pintores, filósofos, historiadores, etc., tiveram sua visão de mundo, de alguma forma, modificada pelo impacto cultural de algumas teorias científicas, como por exemplo, a mecânica newtoniana, a teoria da relatividade, ou a mecânica quântica, o que sem dúvida, corrobora a ideia de que a ciência/física deve ser vista como cultura (ZANETIC, 1989).

Embuídos desse espírito de valorização da ciência, e em especial da Física, “*como visão de mundo e como cultura em sua acepção mais ampla*” (MENEZES,

2000), professor e aluno são, em diferentes níveis, herdeiros de uma rica e complexa tradição cultural, que se encontra em permanente construção e renovação (ZANETIC, 1989).

Neste aspecto, a própria evolução da ciência, vista como um empreendimento humano pode oferecer à educação científica, além da grande beleza intrínseca e caráter pedagógico de suas reconstruções histórico-epistemológicas, instrumentos de reflexão intelectual indispensáveis à formação de físicos – educadores e bacharéis – sensíveis à necessidade de se construir uma educação e uma pesquisa científica em que a física, em articulação com outras formas de conhecimento, como aqueles produzidos pelas ciências humanas e sociais, seja concebida como uma ciência a serviço da vida e promoção da emancipação do homem. Uma ciência para a compreensão e transformação da realidade.

Ao mesmo tempo, não se deve evitar abordar ou incluir determinadas áreas da ciência, apenas porque têm demasiada matemática, sob pena de uma grande parte dos cidadãos concluírem a sua escolaridade sem terem consciência nem conhecimento de algumas descobertas mais significativas da ciência e da história da humanidade, como sejam, por exemplo, a relatividade ou a física quântica.

Neste aspecto, episódios históricos podem problematizar e dar significado para os estudantes do complexo processo do empreendimento científico.

A despeito do interesse que a História da Ciência pode ter em si mesmo, afirmamos que através dela é possível acompanhar as tentativas de compreensão dos fenômenos da natureza ao longo do tempo. Além de contribuir para a humanização da ciência e ajudar no desenvolvimento de uma atitude científica, formando uma visão de mundo e da natureza do conhecimento científico, os aspectos históricos podem contribuir para tornar o ensino mais interessante, facilitando a aprendizagem, mostrando o processo gradativo e lento da construção do conhecimento.

O alvo a que nos dirigimos é tornar a Física mais inteligível para o aluno, menos “mágica”. Assim a História da Ciência permite mostrar que as ideias científicas estão num contexto temporal e cultural, e que tanto os acertos quanto os erros que colaboraram para a ciência que temos atualmente. Como já destacamos anteriormente existem argumentos favoráveis e contrários a utilização didática da história da ciência

e um exame desses argumentos é necessário àqueles que desejam explorar de forma adequada o seu potencial educativo.

## **1.7 Uma Reflexão Sobre a Simplificação e a Deformação da História da Ciência na Educação Científica**

Embora a história da ciência tem sido defendida amplamente pela comunidade de educadores em ciências, deve-se destacar que a introdução da história da ciência no ensino, não é pacífica, pois tem sofrido críticas em relação a possíveis distorções de suas narrativas.

Na década de 70, o seminário História da Ciência no Ensino de Física (tradução nossa), no *Instituto de Tecnologia de Massachussetz (EUA)*, reunindo físicos, educadores e historiadores da ciência promoveu discussões que recomendavam que a abordagem histórica fosse utilizada pelos professores de Física (BALDINATO et. al, 2007).

Neste seminário, o historiador da ciência Martin. J. Klein (1924-2009) crítica a abordagem histórica no ensino de ciências, ao considerar que a apresentação de conteúdos científicos levaria à seleção de conceitos de forma lógica e ordenada. Klein utiliza o termo “pseudo-história”, escrevendo:

(...) a história da Física não pode ser recortada, selecionada, e moldada com o objetivo de incorporá-la a um curso de Física, sem que ela seja transformada, neste processo, em alguma coisa menos do que história (KLEIN, 1972 *apud* BALDINATO, 2009).

De acordo com Baldinato, Klein foi muito criticado na época, mas é preciso ter em conta que Klein está se referindo a uma história da Física de cunho positivista. E, atualmente, a posição de Klein encerra uma questão importante, para todos os que se empenham em levar a história da ciência para a sala de aula.

Portanto, sua crítica se refere às diferentes formas de elaboração, transmissão que podem ser construídas na interface entre história da ciência e ensino. Neste sentido, a preocupação de Klein envolve o estabelecimento de conexões apropriadas entre perspectivas historiográficas em história da ciência e ensino.

Outra objeção a esta perspectiva, é encontrada em Whitaker, quando afirma que a história da Ciência que é apresentada no ensino é uma “quase-história”. Esse autor fornece exemplos de “quase história” da física contemporânea presentes nos livros didáticos e universitários.

Para Whitaker, a quase-história despreza os contextos sociais no desenvolvimento da ciência, resultando em duas formas de apresentar as descobertas científicas: ou são quase triviais ou são místicas. Para ele, a quase história teria como consequência o completo desinteresse do estudante pela ciência.

Ainda segundo Whitaker, a quase-história assemelha-se à “reconstrução racional” da história, nos moldes assinalados por Lakatos (1997), na qual caberia ao historiador suprimir ou desconsiderar todos os aspectos referentes à evolução dos conceitos científicos que pudessem ser considerados “irracionais” à luz de suas concepções filosóficas.

Este problema da reconstrução da história nos remete ao século XIX, quando surgiu a interpretação *whig*. De acordo com Forato (2009), o termo *whig* caracteriza um tipo de história anacrônica. Desse modo, os historiadores *whig* destacam alguns nomes de cientistas, não considerando a complexidade do fazer científico, as controvérsias científicas e ignorando os fatores extracientíficos como parte do desenvolvimento da ciência.

Outro tipo de anacronismo muito comum segundo Forato (2009) é interpretar os acontecimentos e as ideias do passado sob o olhar do presente, isto é, em função das referências e dos conhecimentos do presente, em vez de tentar compreender as ideias e os pensadores/cientistas do passado em seus contextos próprios.

Diante de tais críticas, é esperado que o historiador seja crítico no seu relato histórico, ao compor uma narrativa de como a história da ciência deveria ter se desenvolvido se os cientistas tivessem se comportado racionalmente o tempo inteiro (ZANETIC, 1989, p. 107, BALDINATO; PORTO, 2007). Segundo Whitaker:

Não suponho que autores de *quase-história* tenham, necessariamente, qualquer intenção filosófica, mesmo que inconsciente. Encaro a *quase-história*, de modo geral, como simplesmente resultante do desejo por ordem e lógica, conforme conveniente para o processo de ensino e aprendizagem (Whitaker, 1979, p.238).

Podemos observar da citação, que Whitaker avalia que a quase-história não seria um esforço do autor para fundamentar a sua visão de ciência, mas antes, consequência de suas preocupações pedagógicas.

Mas ainda em relação à citação acima, é importante destacar que, embora os pressupostos filosóficos dos autores possam não estar explícitos, os valores e pressupostos epistemológicos da comunidade científica nortearam os autores para uma reconstrução histórica na apresentação dos conteúdos científicos em manuais didáticos. E para Whitaker, a história é fortemente influenciada pela visão e interpretação do autor, ou seja, em concordância com sua visão epistemológica. Whitaker ainda considera que este tipo de história elimina a dimensão social do desenvolvimento científico (WHITAKER, 1979).

Um dos exemplos se refere à hipótese quântica de Planck que teria sido desenvolvida em função do fracasso da equação clássica de Rayleigh-Jeans em descrever a radiação do corpo negro. Whitaker afirmava que essa versão apresenta uma sequência ordenada dos fatos que não corresponde aos fatos históricos, pois James Jeans modificou a equação do Lorde Rayleigh em 1905, depois que Planck publicou suas ideias. (BALDINATO et al, 2009).

Klein e Whitaker levantam ainda outros dois problemas: o da simplificação da História e o da interpretação dos fatos históricos. Para Klein, a simplificação da História leva a uma falha ou defeito do relato histórico, em toda a sua complexidade e riqueza. Sob esta perspectiva uma “boa” História deve ser completa e exhaustiva. Parece-nos, contudo, que esta argumentação se anula a ela própria, pois o trabalho do historiador dificilmente está completo, em virtude da escassez ou da falta de provas com que geralmente se debate e, também, com as diferentes interpretações dos fatos históricos.

E também, como já discutimos anteriormente neste capítulo, as diferentes correntes historiográficas dependem dos objetivos a que se destinam. Uma abordagem historiográfica destinada a estudantes do ensino básico requer um diálogo com as especificidades pedagógicas no contexto escolar, e, portanto, se distancia muito do objetivo pretendido por um historiador da ciência.

Neste sentido a interface entre história da ciência e ensino envolve um campo interdisciplinar formado por três campos distintos: a história da ciência, o saber de

referência e o ensino. Na confluência desses três saberes é que nasce a possibilidade de constituição de uma historiografia que denominamos, neste trabalho, de “historiografia didática” que se ajustaria aos objetivos pedagógicos específicos do contexto escolar e, portanto, com uma metodologia própria.

A nosso ver, retomando Whitaker brevemente, concordamos com esse autor quando afirmou que:

É essencial que ele [i.e., o autor do material didático] ensine a história como ela aconteceu, e não como ela deveria ter acontecido, ou como ele deseja que houvesse acontecido (BALDINATO et al, 2009, apud WHITAKER, 1979 b)

Nessa perspectiva, avalia-se que as reflexões de Klein e Whitaker, longe de inviabilizarem o uso da história da ciência, nos sinalizam as armadilhas e cuidados que se deve ter na inserção da história da ciência no ensino de Física e nos materiais didáticos produzidos com esta finalidade.

Trazendo a discussão para o contexto atual dos últimos anos, percebe-se que os manuais didáticos apresentam uma história da ciência descontextualizada, de forma simplificada, com erros historiográficos e distantes dos conhecimentos epistemológicos, com concepções equivocadas sobre a dinâmica da atividade científica.

Os autores que contestam essa situação propõem uma visão diacrônica que compreenda a história em termos do contexto da época.

Desse modo, essas narrativas que distorcem a história tem sido alvo de reflexões e discussões por pesquisadores mais diretamente ligados à história da ciência. Por exemplo, Allchin (2011) apresenta em seu artigo “Pseudohistoria e Pseudociência”, as consequências negativas do que esse autor denomina de pseudo-história:

A pseudo-história veicula ideias falsas sobre o processo histórico da ciência e sobre a natureza do conhecimento científico, mesmo quando baseada em fatos reconhecidos.

Martins (2001) apresenta uma lista da utilização inadequada da história da ciência, que todos que se dedicam a seu ensino devem atentar. Eis alguns exemplos:

- Redução da história da ciência a nomes, datas e anedotas;
- Concepções errôneas sobre o método científico;

- Uso de argumentos de autoridade.

Consideramos todos os argumentos acima pertinentes para a discussão empreendida neste trabalho, pois nosso objetivo é proporcionar aos estudantes do ensino básico uma visão cultural da ciência na sala de aula. E para tal, se faz necessário que a ciência seja apresentada para os estudantes como um patrimônio imaterial da humanidade que faz parte da evolução humana.

E neste aspecto pela própria característica humana, a ciência foi social e historicamente construída ao longo do tempo com muitas controvérsias, debates e embates.

Portanto a ciência em sua dimensão cultural é o resultado de elementos como a imaginação, a criatividade e a racionalidade de seres humanos falíveis que dialogaram criticamente com a natureza. Logo, os conhecimentos científicos não estão distanciados da sociedade e época em que foram elaborados, sofrendo suas influências e também influenciando. Sob essa perspectiva é que se deve procurar a interface entre história da ciência e ensino.

A seguir procuramos esclarecer ao leitor desta tese mais detalhadamente qual perspectiva historiográfica se alinha com a nossa proposta de inserção da abordagem histórica no ensino básico.

## **1.8 Contornos da História da Ciência no âmbito do presente trabalho**

Do que foi apresentado até aqui e discutido anteriormente, destacamos que no início do século XX, a aproximação da história da ciência e ensino correspondia a uma perspectiva historiográfica positivista.

Entretanto, como afirma Beltran *et al* (2014, p.107) esse diálogo entre tendências pedagógicas e perspectivas historiográficas considerando uma forma de interação mais profícua para o ensino, só voltariam a ser valorizadas e discutidas mais profundamente na década de 80.

Em recente artigo, Caldeira (2009, p. 6) aponta que nos anos 50, a aproximação entre história da ciência e organizações dos professores de ciências fomentou o desenvolvimento de currículos e atividades integradas entre duas áreas.

No entanto, segundo a autora, os cursos e exames que originaram as primeiras propostas curriculares Nuffield de 1951, para a Inglaterra, Wales e Irlanda do Norte, praticamente ignoraram as dimensões histórica, social e cultural da ciência.

Ainda segundo Caldeira (2009), Richard Dusch<sup>10</sup> fez uma revisão da literatura publicada na área da interface entre história e filosofia da Ciência e ensino de física, tomando a década de 50 como ponto inicial de sua investigação, finalizando seu levantamento nas décadas de 80. Esse autor concluiu que entre 1950 e 1960, as pesquisas refletiram propostas relacionadas ao planejamento curricular, migrando nos anos 1970 e 1980 para pesquisas voltadas para estratégias de aplicação desta abordagem no ensino e sua avaliação.

Por outro lado, segundo Matthews (1994, p.49), do ponto de vista acadêmico houve um aumento de iniciativas em diversos países, que o autor destaca como uma “mudança de sorte” na inclusão da história da ciência no currículo científico.

No mesmo período, Michael Mathews (1994, p.70) identificou duas tendências nas propostas de inclusão da História da Ciência nos currículos científicos, o que ele denominou “abordagem inclusiva” (“*add on approach*”). Trata-se da introdução de episódios históricos (ou “estudos de caso” de História da ciência), em um curso tradicional, não histórico. Este tipo de abordagem ganhou espaço, devido as dificuldades encontradas pela abordagem anterior, característica dos anos 1950 e 1960 que Mathews denominou de “abordagem integrada” (“*integral approach*”) (PRESTES e CALDEIRA, 2009). Neste tipo de abordagem, a perspectiva histórica servia de linha condutora de todo o conteúdo científico a ser trabalhado com os estudantes em um curso.

---

<sup>10</sup> DUSCHL, RICHARD A. Science education and philosophy of science: twenty –five years of mutually exclusive development- *School Science and Mathematics* 85(7): 541-555, 1982.

Nesse caso, cada conceito seria tratado segundo suas origens e transformações, bem como cada método ou prática seria analisado conforme seu desenvolvimento histórico (MATTHEWS, 1994, p.70).

No entanto, como apontamos anteriormente neste trabalho, o maior e mais significativo obstáculo encontrado para a abordagem histórico-epistemológica no ensino básico, é a própria visão dos educadores pautada na perspectiva tradicional do ensino de física, enfatizando os produtos da ciência. Além disso, as diferentes histórias da ciência que os professores têm acesso e propõem - se a aplicar em sala de aula conflitam diretamente como o objetivo de formação cultural que são recomendadas pelas diretrizes governamentais, tais como nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), que destacam a história da ciência como uma forma não neutra de apresentar a ciência na educação básica.

E ainda quando os educadores se propõem a introduzir em suas aulas a história da ciência, em geral é de forma separada do conteúdo, apresentando pequenas biografias daqueles cientistas considerados gênios, ou simplesmente como mera curiosidade.

Portanto, concordamos com Martins (2006) quando o autor afirma que o primeiro problema é a falta de professores com “ *formação adequada para ensinar de forma correta a história das ciências(...)* Enquanto não é resolvido, deve-se ter em mente que os professores de Física podem prestar um desserviço a essa área.”(Martins, 2006, p. XXIII).

Um segundo problema também apontado por Martins, é a falta de material adequado, especialmente porque, a perspectiva dominante nos materiais didáticos valoriza o progresso contínuo do empreendimento científico.

Assim, nos livros de Física, é comum apresentar Newton e a queda da maçã em sua cabeça como principal motivo do desenvolvimento da teoria da gravitação. Consideramos muito grave esta distorção, pois além de ridicularizar a ciência e o próprio Newton, implica em veicular uma imagem falsa do complexo processo da construção da ciência.

Portanto, ao se pensar uma proposta que articule a história da ciência no ensino, é necessário que se considere não só sua inserção, mas também os aspectos práticos de sua concretização no contexto escolar.

Aliada a essa problemática, não podemos esquecer o reduzido número de aulas de Física, especialmente nas escolas públicas estaduais.

Neste contexto, embora considerando que as duas abordagens, a integrada e a inclusiva, tenham o seu valor, concordamos com Allchin em que “*permanece majoritária a tendência de elaboração de contribuições pontuais,*” ao menos até conseguir desenvolver suportes mais amplos (ALLCHIN, 2007). A abordagem inclusiva colabora diretamente em dar ao professor autonomia para a “tomada de decisão” na construção do programa de aprendizagem, conforme os modelos educacionais atuais. Desse modo, em sintonia com a nova perspectiva historiográfica, levamos em consideração não só aspectos internos, mas também externos ao desenvolvimento da teoria da gravitação universal de Newton.

Alinhados à abordagem inclusiva, a proposta desta tese é a de desenvolver um estudo de caso na perspectiva da Abordagem Temática Freiriana proposta por Delizoicov, Angoti & Pernanbuco (2011) fundamentados nos pressupostos freiriano e zaneticiano de ensino, tendo tema gerador a Gravitação Universal.

Para Freire (1987) a contextualização envolve não só os aspectos sociais, mas também aspectos culturais e políticos de um povo – ou seja - contempla a construção de atividades didático - pedagógicas que estejam vinculadas a problemas historicamente situados em determinado momento histórico.

Além disso, na Abordagem Temática Freiriana, os conceitos científicos têm um papel fundamental, pois é a partir dos conceitos científicos que os estudantes poderão alcançar uma consciência crítica e reflexiva no contexto no qual este imerso, superando as situações limite.

Neste aspecto Delizoicov (2001) afirma que o conhecimento científico poderá ser abordado sob diferentes estratégias metodológicas. Dentre as possibilidades, o autor aponta textos de divulgação científica, produção escrita, utilização de informação e comunicação. Segundo Delizoicov (1982):

O tema gerador gerará um conteúdo programático a ser estudado e debatido, não só como um conteúdo insípido e através do qual se pretende iniciar o aluno ao raciocínio científico; não um conteúdo determinado a partir da ordenação dos livros textos e dos programas oficiais, mas como *um* dos instrumentos que tornam possível uma compreensão do seu meio natural e social, 1982, p.11( grifo do autor).

Portanto, o problema é o principal elemento estruturante do planejamento curricular, sendo que sua consolidação se dá através da escolha do tema gerador.

Na proposta do Tema Gerador, podem-se abordar conhecimentos que vão além das Ciências para melhor compreensão do tema. Neste sentido, o que Freire se refere é não apenas ensinar os conteúdos científicos, mas levar os estudantes a apropriarem-se das práticas científicas.

Para uma abordagem distinta do que comparece nos livros didáticos, Delizoicov (2001), fundamentado em Bachelard (1977) destaca a função das questões problematizadoras como gênese do conhecimento durante a aprendizagem do estudante para se apropriar de novos conhecimentos.

Entre as opções apresentadas por Delizoicov (2001, p. 134) para se realizar a problematização destaca-se a História e Filosofia da ciência como podemos ler neste fragmento.

(...) uma das possibilidades de se considerar essa perspectiva de problematização está articulada ao uso da História e Filosofia da Ciência no Ensino (...). Dessa forma seria propiciada a contextualização da origem, formulação e solução dos problemas mais relevantes que culminaram com a produção dos modelos e teorias, o que teria o potencial de explicitar e explorar o significado histórico dos problemas juntos aos estudantes e, talvez por isso, permitir-lhe a apreensão das soluções dadas e o respectivo conhecimento produzido (...).

Portanto, é nesta perspectiva que se enquadra o presente trabalho, uma vez que tivemos como objetivo problematizar a Gravitação a partir do seu viés histórico-epistemológico, segundo a qual os diferentes modelos cosmológicos ao longo da história contribuíram para que Newton realizasse a sua grande síntese, culminado com a gravitação universal. E a partir daí levar os frutos desta reflexão aos alunos de física do ensino médio. Na próxima seção discorreremos mais detalhadamente sobre a abordagem temática freiriana e a problematização na educação científica.

## Capítulo 2: História da Ciência e Educação Científica: o exemplo da Gravitação Universal

[...] o ensino de física não pode prescindir [...] da conceituação teórica, da experimentação, da história da física, da filosofia da ciência e de sua ligação com a sociedade e com outras áreas da cultura. Isso favoreceria a construção de uma educação problematizadora crítica, ativa e engajada na luta pela transformação social. (ZANETIC, 2000, p. 21).

### 2.1 Educação científica nas perspectivas Freiriana e “Zaneticiana”

Na epígrafe deste capítulo, Zanetic enfatiza a Física e sua ligação com as demais áreas da cultura. Essa perspectiva cultural da Física percebe sua historicidade e favorece uma educação na concepção problematizadora freiriana.

A Física como construção humana é uma propriedade cultural da humanidade, que reflete o conhecimento produzido ao longo da história.

Nesta perspectiva, o ensino da física no ensino médio não pode privilegiar uma formação que apenas prepare para a Universidade, sim, que prepare o indivíduo para uma intervenção mais crítica na realidade que o cerca. Zanetic (1989, p. 49) apresenta em sua tese de doutorado a relevante argumentação de Snyders (1988) sobre o papel dos conteúdos escolares: “[...] como diz George Snyders *‘renovar a escola a partir de uma transformação dos conteúdos culturais’, ou melhor ainda’[...] trata-se então, na verdade, de desorganizar a escola, a partir de novos conteúdos’*.

Concordamos com Snyders que o autor adverte que é necessário *“desorganizar a escola”*, pois ainda existe em grande parte dos docentes de Física, uma visão simplista de Ciências.

Assim, antes de discutir-se a importância atribuída a uma inclusão de um conteúdo científico no planejamento escolar, é necessário discutir a compreensão crítica desse conhecimento. Assim torna-se necessário estabelecer uma discussão epistemológica da ciência que auxiliará na definição de concepções que permeiam a postura de que se propõe a discuti-la.

Como vimos em discussões anteriores neste trabalho, a ciência se desenvolve em um contexto social, econômico, cultural e material bem determinado. Por outro lado, também não é possível discutir os conhecimentos científicos apenas a partir deste contexto. É necessário também contemplar os fatores internos da ciência, tais como os argumentos teóricos e experimentais.

Assim, entendemos que os episódios da história da ciência são insubstituíveis na formação de uma visão mais cultural da ciência, como suas limitações, suas relações com outros domínios, auxiliando não só no próprio aprendizado dos conteúdos científicos, mas também potencializando a formação cultural do estudante.

Mas o que ocorre em nossas escolas como aponta Zanetic (1989) é uma “física escolar” que não ultrapassa os conceitos descontextualizados e um amontoado de fórmulas sem sentido para os estudantes, muito distante do que o autor denomina de “física real”.

Em contrapartida, Zanetic (2009) destaca que a Física como cultura possibilita um diálogo inteligente com o mundo, à medida que promove a curiosidade, facilitando a formação dos envolvidos no processo educativo.

Dessa forma, consideramos importante que ao longo de toda a sua formação, o estudante seja instigado a refletir sobre a ciência, pensando os limites e potencialidade desse conhecimento. A Física como cultura vai além dos aspectos científicos, contemplando os seus aspectos sociais permeados por valores, ideologias e crenças.

Para concretizar a aproximação entre Física e Cultura, Zanetic sugere a aproximação histórica da ciência como podemos ler no fragmento abaixo:

A recuperação da física enquanto uma área que tem muito a contribuir na formação cultural geral do cidadão contemporâneo”. Ao lado do algoritmo, da aplicação na solução de determinados problemas importantes (por exemplo, a física das coisas), a história da física oferece o aspecto dinâmico de uma área de conhecimento em evolução e/ou mudança.

Esse aspecto dinâmico da ciência apontado por Zanetic pode ser facilmente vislumbrado nos seguintes marcos históricos da sua evolução como a concepção de ciência dominante até o Renascimento e a revolução científica do século XVIII que resultou na ciência moderna, produzindo uma ciência que entrava em conflito com valores, princípios e teorias que prevaleciam na época.

Portanto a física escolar que desconhece essa riqueza cultural e conduzem à memorização de conceitos e fórmulas, torna o ato educativo incompleto e vazio, mero depósito de conhecimentos, onde os estudantes são os depositários e os professores depositantes (FREIRE, 1987).

Em oposição a esta cultura de informes, a escola ainda é um dos espaços propícios para o resgate da cultura/formação científica, de forma que a principal tarefa da escola é como aponta Zanetic:

[...] favorecer a construção de uma educação problematizadora, crítica, ativa, engajada na luta pela transformação social. Um fator determinante no encaminhamento de um jovem para o encantamento com o conhecimento, para o estabelecimento de um diálogo inteligente com o mundo, para a problematização consciente de temas e saberes, é a vivência de um ambiente escolar rico e estimulante, que possibilite o desabrochar da *curiosidade epistemológica*. [itálico do autor].

Para desenvolver a curiosidade epistemológica, o processo de ensino – aprendizagem deve permitir aos estudantes um olhar crítico, rigorosamente metódico sobre a realidade, para que eles tenham possibilidade de incorporar os conhecimentos científicos e tecnológicos como cultura.

Em vista do exposto, dialogamos com a Abordagem Temática Freiriana que tem como foco a problematização de situações significativas imersas na realidade vivencial dos estudantes.

Na pedagogia de Paulo Freire, o educando assume o papel central no processo de ensino aprendizagem. Esta proposta de ensino tem como ponto de partida as situações-limite, ou seja, os problemas vivenciados pelos educandos no cotidiano. Para Freire (1987), as situações-limite são dimensões desafiadoras que emergem da atividade dos homens e que nem sempre são percebidas por eles.

Portanto, o problema, é o principal eixo norteador da programação curricular, curricular. E a partir do desenvolvimento e discussão do problema pela comunidade que será estabelecido o Tema Gerador. Este tema tem como objetivo trazer à tona o entendimento dos sujeitos envolvidos acerca da realidade em que estão imersos. Para Delizoicov (1982):

O tema gerador gerará um conteúdo programático a ser estudado e debatido, não só como um conteúdo insípido e através do qual se pretende iniciar o aluno ao raciocínio científico; não um conteúdo determinado a partir da ordenação dos livros textos e dos programas oficiais, mas como um dos instrumentos que tornam possíveis ao aluno uma compreensão do seu meio natural e social.

Neste aspecto, a escolha do tema gerador se dá através do “diálogo” entre educador, educando e comunidade. Para Paulo Freire, é o diálogo do professor com o estudante sobre algo que lhe é familiar é que favorecerá sua participação efetiva, tornando possível a problematização das situações evidenciada pelo tema gerador.

A dialogicidade do ato educativo, contudo, não se reduz a um diálogo gratuito. Ela tem como foco o objeto cognoscível, cuja apreensão é cointencionada pelos distintos sujeitos do conhecimento. Esses sujeitos possuem diferentes formas de conhecimento, e essas devem ser problematizadas. Desse modo, o diálogo educador-educando, educando-educador é pautado pela problematização do conhecimento. Segundo Freire:

A tarefa do educador, então, é a de problematizar aos educandos o conteúdo que os mediatiza, e não a de dissertar sobre ele, de dá-lo, de estendê-lo, de entregá-lo, como se tratasse de algo já feito, elaborado, acabado, terminado. Neste ato de problematizar os educandos, ele se encontra igualmente problematizado (FREIRE 1992, p.81).

No âmbito do ensino de física, e numa acepção mais ampla do termo problematização (que não remeta apenas aos problemas de lápis e papel), Delizoicov (1991) aponta duas dimensões para a problematização.

A primeira delas está relacionada à exploração didática de temas significativos, envolvendo questões sociais, relações entre ciência, tecnologia e sociedade, ou ainda à busca de uma aproximação dos conteúdos específicos de Física de situações vivenciadas pelos estudantes no seu cotidiano. A outra possibilidade como já apontamos anteriormente, está articulada ao uso da história e filosofia da ciência no ensino de Física.

É no âmbito da segunda possibilidade que se situa a pesquisa aqui empreendida, pois dessa forma, o diálogo com a perspectiva freiriana e zaneticana de ensino e as pesquisas em ensino de ciências a ela articulada teve como objetivo subsidiar teórica e metodologicamente a pesquisadora em seu esforço de refletir sobre a

história da ciência, e a partir dessa reflexão selecionar e desenvolver o material histórico científico.

Uma possibilidade de estabelecer uma dinâmica de atuação docente em sala de aula, segundo a perspectiva dialógica e problematizadora de Freire, é estruturada em Delizoicov (2008,1991) e Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), no que se convencionou denominar *três momentos pedagógicos*: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento.

Portanto, inspirada nas ideias do educador Paulo Freire (1921-1997), a proposta dos “*Três Momentos Pedagógicos*” surgiu no contexto da apropriação dos aspectos da pedagogia freiriana nos projetos de Ensino de Ciências da década de 70.

A partir da reflexão de um grupo de pesquisadores do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, sua primeira aplicação ocorreu em um projeto de ensino de ciências para as 5° e 6° séries do ensino fundamental na Guiné-Bissau. Posteriormente, também foi aplicado no Rio Grande do Norte e em São Paulo. (MUENCHEN E DELIZOICOV, 2010).

Esses momentos, apesar de distintos, não devem ser interpretados como uma sequência rígida de etapas estanques, mas como constituintes de uma dinâmica de trabalho pautada pela articulação dialética estabelecida por eles, como veremos na próxima seção.

## **2.2 Os Três Momentos Pedagógicos**

### **Problematização inicial**

Antes da apresentação formal do conteúdo o professor estabelece um diálogo com os alunos acerca do conteúdo que será desenvolvido. A partir de um pequeno número de questões que, normalmente, os alunos não levantam e que só podem ser encaminhadas mediante o conhecimento histórico e epistemológico, o professor inicia o seu processo de apreensão dos elementos significativos do conhecimento prévio dos alunos. A seguir o professor passa a problematizar o conhecimento que os alunos vão expondo. As questões podem ser inicialmente discutidas em pequenos grupos e depois entre os vários grupos que compõe a classe, conforme sugere Delizoicov (2001). Nesse

momento, cabe ao professor criar condições para que os alunos possam expor sem constrangimentos os seus posicionamentos em relação às questões em pauta. O professor deve coordenar e fomentar a discussão. Ao invés de simplesmente responder e explicar, o professor questiona os posicionamentos destacando as suas possíveis contradições e inconsistências, em face do conhecimento histórico-epistemológico contemporâneo. O ponto culminante da problematização é fazer com que o aluno sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém, ou seja, procura-se configurar a situação em discussão como um problema que precisa ser enfrentado (Delizocoiv, 2001, p.143).

### **Organização do conhecimento**

Os conhecimentos necessários ao encaminhamento das questões discutidas anteriormente são agora sistematicamente estudados pelos alunos, sob a orientação do professor. Assim, percebe-se que os conhecimentos elaborados – científicos históricos e epistemológicos - configuram-se como ponto de chegada (Delizocoiv; Angotti; Pernambuco, 2002). Neste momento, o professor fornece explicações, clarificando os conceitos e posicionamentos estudados pelos alunos, cotejando-os com as suas concepções anteriores. Alguns dos posicionamentos epistemológicos contemporâneos, ainda que não convergentes entre si, podem ser explicitados para os alunos, permitindo a estes perceberem que a reflexão epistemológica sobre a física e a sua história não se encerra em uma única interpretação.

### **Aplicação do conhecimento**

Neste estágio, os alunos são colocados diante de questões de natureza científica e histórico-epistemológicas em que as resoluções e encaminhamentos só se tornam possíveis mediante a interação com os novos conhecimentos apreendidos. Delizoicov argumenta que este momento: Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo quanto outras situações que, embora não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, podem ser compreendidas pelo mesmo conhecimento (Delizoicov, 2001, p.143-144). Por exemplo, os alunos podem ser solicitados a identificar e analisar em filmes, documentários, revistas de divulgação científica, livros didáticos e paradidáticos, afirmações ou procedimentos em que estejam

explícitas ou subtendidas as posições epistemológicas dos autores. É importante assinalar que a problematização perpassa os três momentos pedagógicos, que se articulam e manifestam ao longo de todo o processo.

Cabe aqui retomar a questão do uso da história da ciência como estratégias para favorecer a argumentação em sala de aula, pois, criando-se um espaço dialógico, o professor pode fazer com que o aluno perceba que a aceitação ou refutação de alguma teoria, não depende apenas do seu valor intrínseco, mas também do contexto social, político e filosófico de uma época.

Neste ponto gostaria de destacar que a história da Ciência, para o propósito desta tese, é muito mais que uma simples estratégia ou ferramenta adicional para o aprendizado de Física, concebendo-a como dimensão constitutiva do conhecimento e, portanto, necessária à atividade didática- pedagógica com a ciência.

Neste sentido cai por terra toda e qualquer intenção instrumentalista de se conceber a história da ciência no ensino de ciências, dando lugar a uma perspectiva na qual aparece como estruturadora do conhecimento.

Portanto, é um atributo essencial para o aprendizado dos conceitos, para seu entendimento mais amplo e profundo dos seus significantes; ela revela a evolução desses conceitos, e de como as crenças, os valores dos homens que fizeram parte de sua história influenciaram seu desenvolvimento, promovendo um entendimento da ciência integrada à cultura de uma época.

Além disso, a consciência do complexo processo de elaboração dos conceitos físicos, nos ajuda a compreender os obstáculos cognitivos frequentemente enfrentados pelos estudantes em seu processo de aprendizagem.

### **2.3 Problema de Pesquisa e Justificativa**

Apesar do potencial educacional que é atribuído à História da Ciência e do esforço que tem sido feito para aproximá-la da educação científica, fica evidente que existem barreiras que podem dificultar e inviabilizar esta aproximação, impedindo que ela cumpra efetivamente seu papel no ensino de ciências.

No capítulo 1 destacamos o obstáculo referente à falta de material histórico adequado para o processo educacional. Uma vez constatada a escassez de material didático (HOTTECKE, HENKE e RIESS, 2010; HOTTECKE, SILVA 2011; VIDAL & PORTO, 2012) na perspectiva histórico-epistemológica de qualidade para subsidiar experiências concretas e sua aplicação nas aulas de física no ensino médio, nos parece que essa escassez se agrava no caso da Gravitação Universal.

Como já destacamos no capítulo de apresentação desta tese, apesar de sua relevância social, cultural e histórica de sua relação com os desenvolvimentos tecnológicos, como as tecnologias espaciais e sua importância na sociedade atual, a gravitação não vem sendo trabalhada no ensino médio (TEIXEIRA et al, 2018), o que descaracteriza a própria mecânica newtoniana.

Se a ausência da gravitação newtoniana na escola é um sério problema, a ênfase nos produtos do conhecimento científico sem problematizar os processos de sua construção descaracteriza a própria ciência no contexto escolar.

De fato, os estudantes de um modo geral, não aprendem que determinadas ideias levaram muitos anos para serem estruturadas, e que a ciência tem uma história longa e tortuosa. Assim, como os estudantes não tem acesso às práticas científicas, não conseguem compreender de forma clara qual foi o processo de construção dos conceitos físicos.

Nossa vivência como professores do ensino médio corrobora a exclusão da Gravitação pela maioria dos professores no planejamento escolar. A nosso ver essa exclusão está diretamente relacionada a uma formação inadequada do licenciando e futuro professor em história da ciência.

Neste aspecto concordamos com (DUARTE, 2004) quando afirma que isso traz *para o centro dos problemas educativos a formação de professores, colocando fortes desafios a todos aqueles que [...] acreditam que nada serve mudar currículos se não houver mudanças nos professores que os implementam*".

Portanto, não é suficiente que materiais históricos de qualidade sejam produzidos para professores e estudantes do ensino médio. Antes é preciso que os professores estabeleçam uma nova relação com o saber de referência, compreendendo a

natureza desse saber, para tornar esse ensino mais prazeroso e significativo para os estudantes.

Cabe aqui esclarecer que não estamos defendendo que a história da ciência irá resolver todos os problemas de ensino na escola básica. Mas em contrapartida, defendemos que a abordagem histórico-epistemológica promove a oportunidade ao estudante perceber as relações entre os diversos conceitos entre as teorias, que as crenças e valores do cientista também influenciam suas práticas científicas. Consideramos que problematizar esses aspectos, promove uma postura mais crítica por parte dos estudantes, ampliando sua compreensão em relação à ciência.

Outro problema é a acessibilidade do material histórico de qualidade para professores e estudantes. Nos referimos à acessibilidade ao conteúdo em si, pois este, muitas vezes, não está disponível para estudantes ou professores que não trabalham com História da Ciência.

Segundo Bastos (2009, p. 52), “*os textos de História da Ciência disponíveis para consulta dificilmente se adaptam às necessidades específicas do Ensino de Ciências na escola fundamental e média, talvez porque não reúnam simultaneamente, de modo sintético e numa linguagem acessível, os diferentes aspectos que o professor pretende discutir em sala de aula*”.

Partindo do pressuposto de que a História da Ciência pode dar uma contribuição significativa para a formação dos estudantes da Educação básica, uma pergunta deveria ser colocada antes do enfrentamento do problema prático de criar experiências concretas em sala de aula: *Quais princípios historiográficos devem estar presentes para subsidiar a elaboração de um material histórico-epistemológico que promova uma educação científica cultural?*

Dentro desse enfoque, desejamos situar a física enquanto conhecimento humano, como um saber capaz de proporcionar à humanidade um diálogo inteligente com a natureza e, portanto, constituindo-se em saber dinâmico cujas verdades não são definitivas.

Para aqueles estudantes que continuarão seus estudos, por diversos motivos, ou para aqueles que escolherem outras áreas, seria necessário mostrar-lhes qual o significado da física, qual a sua importância em nossa cultura.

Assim, entendemos que a abordagem histórico-epistemológica representa uma dimensão importante da educação científica se o que se pretende é que o conteúdo trabalhado tenha maior significado para o estudante.

Diante da relevância da história da ciência para o ensino de ciências, da falta de material histórico científico para subsidiar efetivamente práticas metodológicas em sala de aula, propomos neste trabalho de doutorado elaborar um material histórico-epistemológico, tendo como tema gerador, a Gravitação Universal de Newton. Neste ponto cabe destacar que escolhemos trabalhar com a produção do material histórico, visto o que tem sido discutido nas pesquisas quanto à escassez deste tipo de material para o ensino básico. No entanto, como já discutimos neste trabalho e também é apontada pela literatura este não é o único problema a ser enfrentado, como destaca Martins (2007, p. 127) e Forato, Martins e Pietrocola (2009, p. 2).

Sabemos que a interface entre história da ciência e ensino não é tarefa fácil. Usualmente nos livros didáticos a perspectiva histórica dominante que é veiculada, valoriza os “grandes gênios, trazendo uma história da ciência progressiva e linear. Outra história recorrente no ensino básico se limita a datas e nomes, a fatos caricaturais ou a anedotas (reais ou inventadas) como atualmente é feito nos livros didáticos, mesmo reconhecendo a importância que isso tem no ensino (ZANETIC, 1989).

Ainda hoje, as diferentes histórias da ciência que os professores e estudantes tem acesso e propõem a aplicar em sala de aula esta ligada a uma das formas citadas acima.

Em um texto em que discute sobre a utilização da abordagem histórica no Ensino de Física, Pessoa Jr. (1996) comenta sobre ensinar História da Ciência a partir da leitura de traduções de originais:

*Em um curso de Física o professor daria traduções de textos originais de Copérnico, Huygens ou Faraday para os alunos lerem. Esta atividade em geral reserva boas surpresas para o leitor, nos detalhes dos relatos*

*estudados, mas existe uma falta de traduções para o português* (PESSOA JR., 1996, p. 5).

Dentre as possíveis contribuições que a abordagem histórica pode trazer para a educação científica, algumas das quais foram elencadas em seções anteriores desta tese, destacamos que a partir dela é possível uma melhor aprendizagem dos conceitos científicos e para a compreensão de que a atividade científica sofre a influência dos fatores sociais, políticos, econômicos, religiosos, dentre outros. Portanto, diversas pesquisas têm defendido que a inclusão da história da ciência no ensino na sala de aula possibilita um diálogo entre os saberes e pode auxiliar na formação do cidadão do século XXI (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS 2011).

Do que foi visto no capítulo 1 e quando elegemos uma linha específica que visa discutir a construção da Gravitação Universal de Newton e na medida que optamos por sua abordagem na perspectiva cultural, nos é pertinente trabalhar com a nova tendência historiográfica, onde são consideradas relevantes, não somente os fatores referentes à lógica interna dos conceitos e teorias, assim como os papel das influências sociais, políticas, econômicas e culturais do momento histórico que tais conceitos e teorias foram elaborados.(ALFONSO - GOLDFARB, 2004).

Isto significa que as discussões que promovemos na elaboração do material histórico científico produzido contemplou tanto os aspectos internalistas como externalistas da ciência. Como Forato afirma:

Qualquer narrativa da HC traz, implícita ou explicitamente, os valores, as crenças e as orientações metodológicas do seu autor. O relato histórico da criação de um conceito científico, ou de um debate entre teorias rivais, ou da realização de experimentos, por exemplo, carregam concepções sobre a natureza da ciência e sobre os processos da sua construção. Não é possível separar essas concepções pessoais (em maior ou menor grau) do trabalho de qualquer profissional ligado à da *abordagem internalista*, na qual se “discute os fatores científicos (evidências, fatos de natureza científica) relacionados a determinado assunto ou problema” (Forato *apud* Martins, 2005, p. 306).

O produto da nossa parte histórica encontra-se no Capítulo 3 e subsidiou os textos produzidos para os alunos que estão no Anexo 1. Não tivemos a pretensão de fazer um estudo original em história da ciência, exclusivamente com fontes primárias, uma vez que nosso objetivo é elaborar um material didático para alunos do ensino médio. Na elaboração dos textos para os alunos nos inspiramos no trabalho de Forato (2004, p.74) onde encontramos eco para as nossas inquietações quando a autora afirma:

Buscou-se mediar as duas exigências: a da historiografia da história da ciência, perseguindo uma abordagem crítica dos fatos, e as necessidades educacionais do nível de profundidade adequado ao ensino médio.

Diante de tal preocupação, algumas questões emergem como importantes de serem investigadas: Como o material histórico-epistemológico viabilizou para os estudantes uma imagem do caráter coletivo e humano da ciência?

Assim, entendemos que episódios da história da ciência são importantes na formação de uma concepção mais sofisticada da ciência. A seguir apresentamos a nossa proposta didática para o ensino da Gravitação Universal de Newton.

#### **2.4 Uma proposta didática para o ensino de Gravitação a partir de uma perspectiva da História da Ciência: um estudo de caso histórico**

Na reflexão desenvolvida nos capítulos anteriores defendeu-se o argumento de que a história e a filosofia da ciência constituem um corpo de conhecimentos de notável valor pedagógico na educação científica. Todavia, conforme tem assinalado a pesquisa na área, existe um relativo descompasso entre o volume e a qualidade das reflexões e propostas acadêmicas e seus desdobramentos no campo das ações empíricas em sala de aula. Neste capítulo, balizado pela reflexão educacional e histórico-epistemológica desenvolvida anteriormente, delineou-se as linhas gerais de uma proposta de ação didático-pedagógica inspirada em uma concepção de educação progressista, com referência em Paulo Freire, que tem como elemento indissociável da relação professor-aluno a dialogicidade e a problematização do conhecimento, sendo esta última o eixo norteador da ação docente e, conseqüentemente, do planejamento e desenvolvimento das atividades em sala de aula. A proposta será materializada em uma sequência de ensino e aprendizagem abordando a evolução histórica do pensamento científico sobre as ideias gravitacionais através do exame de algumas teorias propostas desde a antiguidade, contemplando a contribuição dos antigos gregos passando pelo heliocentrismo de Copérnico até a Gravitação Universal de Newton.

Os tópicos abordados são muito apropriados a uma abordagem histórico-epistemológica. Adotamos a perspectiva historiográfica da história da ciência denominada de abordagem inclusiva “estudo de caso”. Neste sentido, buscamos um equilíbrio entre as exigências de uma historiografia da história da ciência, balizada por

suas múltiplas dimensões (intrínseca, cultural e histórica), e a adequação da profundidade que contemple o nível cognitivo dos alunos do ensino médio, o que não significa uma abordagem superficial da ciência. Dentro deste espírito, serão priorizados os seguintes aspectos na elaboração dos textos para os estudantes:

- As observações são carregadas de pressupostos teóricos e estes tanto podem impulsionar uma descoberta científica, como podem tornar-se verdadeiros obstáculos ao novo conhecimento;

- A ciência possui uma historicidade que está intimamente ligada ao seu contexto histórico, filosófico, cultural;

- As teorias são criações do intelecto humano, balizadas pelo diálogo crítico e criativo com a natureza;

- A história da ciência pode ser articulada no ensino de física.

A partir dos pressupostos acima apresentados consideramos os seguintes aspectos:

- A natureza complexa das interações em sala de aula;

- As dificuldades cognitivas por parte dos estudantes inerentes ao processo de apreensão das múltiplas dimensões e significados dos processos históricos do desenvolvimento da ciência;

Assim, em sintonia com as recomendações de Matthews (1998) e Martins (2005), procurou-se estabelecer objetivos possíveis de serem alcançados pelos estudantes mediante a leitura dos textos e uma ação docente direcionada, em sala de aula, por meio de um ambiente favorável à reflexão e ao debate, como o proporcionado por uma abordagem dialógica e problematizadora. A sequência será implementada na disciplina Física em duas turmas do ensino médio na Escola Técnica Guaracy Silveira de São Paulo, no qual a pesquisadora é docente. Com a implementação da sequência de ensino e aprendizagem buscaremos enfrentar os desafios de trabalhar com os estudantes do ensino médio conceitos e teorias científicas à luz da história da ciência. Resumidamente apresentamos a seguir a sequência dos tópicos que serão discutidas nas unidades da sequência. Esses tópicos serão discutidos em dois encontros semanais de 50

minutos com os alunos de duas turmas do ensino médio, tendo como docente a professora/pesquisadora. A seguir apresenta-se, de forma sintética, as temáticas dos textos, presentes no Anexo I:

**Texto 1: A Saga inicial: Um pouco de história e filosofia**

**Texto 2: Por que as coisas pesadas caem?**

**Texto 3: Preparando o terreno...**

**Texto 4: As contribuições de Tycho Brahe, Kepler, Giordano Bruno e Galileu**

**Texto 5: Os defensores do sistema copernicano: Giordano Bruno e Galileu**

**Texto 6: As contribuições de Tycho Brahe e Johannes Kepler**

**Texto 7: Os Caminhos de Newton para os Principia**

## Capítulo 3: Reflexões sobre a Gravitação Universal a partir da História da Ciência

### 3.1 Introdução

Neste capítulo resgatamos brevemente como se deu a estruturação da disciplina “Gravitação” ministrada pelo professor João Zanetic no curso de Licenciatura em Física do Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Também resgatamos os fundamentos que nortearam a elaboração de nossa sequência didática.

A disciplina deveria apresentar um conteúdo e um enfoque metodológico da física distintos dos tradicionalmente presentes no currículo anterior do curso de licenciatura e que eram quase idênticos aos do bacharelado. Assim, quando foi convidado a organizar o primeiro programa da disciplina “Gravitação”, Zanetic sugeriu que isso fosse feito com base na apresentação do conteúdo por meio de uma abordagem histórico - epistemológica. Inspirado em sua tese de doutorado, Física também é cultura, Zanetic elaborou suas *Notas de Aulas*, explorando a situação histórica e cultural da época em que os conceitos, os experimentos e as teorias foram desenvolvidos, estabelecendo a compreensão de que a física tem que ser vista como uma construção cultural (Silva, 1998).

A ideia foi aceita e o professor iniciou a escrita de suas *Notas de Aula* e a ministrar a disciplina no segundo semestre de 1993, ano de início da nova estrutura do curso de licenciatura. Tendo a obra “Estrutura das revoluções científicas”, de Thomas Kuhn, “como eixo epistemológico,” as fases pré-paradigmática, ciência normal e seu paradigma, crise e revolução científica presentes na obra guiaram a construção dos temas das *Notas*, que foram modificadas ao longo dos quase 20 anos em que Zanetic ministrou a disciplina “Gravitação”.

Desse modo, a ênfase central dessa disciplina contemplava os diferentes estágios de construção das “teorias gravitacionais” desenvolvidas ao longo da história. Nesse enfoque, o professor João Zanetic revela suas práxis educativas, refletindo filosoficamente sobre a educação escolar, e nela, o papel dos conhecimentos físicos, afirmando que a física também é cultura. Assim compartilha, com outros

epistemólogos, críticas ao método científico tradicional, o qual tem como pressupostos: 1- neutralidade do sujeito; 2 - observáveis puros; 3 - produção de conhecimento científico que ocorre por meio de critérios atemporais – os da lógica e da matemática – no tratamento e na análise de dados empíricos; 4 - origem do conhecimento é a observação e a experimentação (DELIZOICOV, 2009).

Contrapondo-se aos aspectos citados, a abordagem histórica presente nas *Notas de Aula*, mostra-se muito rica para subsidiar a discussão e a problematização de que o conhecimento científico não é cumulativo e linear, que as interpretações das observações estão impregnadas de valores, crenças.

Apresentamos nesta introdução e nas próximas seções deste capítulo, orientados pelos conteúdos das Notas e de outras referências históricas e filosóficas, um conjunto de temas que vão ser a base para a elaboração de nossa sequência didática.

Vamos mapear o contexto do desenvolvimento da teoria da gravitação universal de Newton. A síntese newtoniana representou o coroamento de um intenso processo de mudança científico-cultural, de visão de mundo.

Newton, ao articular as técnicas e conceitos da física terrestre à explicação do movimento planetário, iniciada por Kepler, conseguiu unificar a física de dois mundos que durante muitos séculos foram tratados como espaços com propriedades distintas, o mundo sublunar onde predominava a mudança e o mundo supralunar, perfeito e imutável. (KOYRE, 1991). Mas para chegarmos até Newton, também não podemos prescindir de tantos outros que contribuíram para a ruptura com esse paradigma, como Kepler, Galileu e Descartes, entre outros.

Assim, evidenciar os modelos históricos, os contextos em que foram assumidos diferentes paradigmas, seu poder explanatório e suas limitações subsidiaram a elaboração do material didático para o ensino médio. Esses debates conceituais levaram a humanidade a novas visões de mundo. Estudar e compreender aspectos dessa complexidade histórico-epistemológica da gênese da teoria da gravitação universal e levar os frutos aos estudantes em nível do ensino médio é o objetivo da reflexão aqui iniciada.

O trabalho sobre a obra de Newton ainda hoje é objeto de cuidadoso estudo por parte dos historiadores da ciência. Podemos considerar os *Principia* como a primeira exposição sistemática e rigorosa, sob o ponto de vista matemático, da compreensão científica do mundo físico, projetando-se a sua influência, de um modo decisivo, na forma e no método como a partir de então se começou a pensar e a fazer ciência.

A compreensão da construção do Princípio da Gravitação Universal atribuída a Newton, é um assunto que por si só é de grande interesse para aqueles que se dedicam ao estudo da Física, em função da riqueza conceitual tanto em relação às ideias físicas acerca de força, movimento e princípios de conservação, quanto da linguagem matemática empregada em tais conceitos.

Albert Einstein (apud Zanetic, 2007, pág.2), quando destaca o papel de Newton na consolidação da mecânica, afirma o seguinte:

A importância dos trabalhos de Newton consiste principalmente na criação e na organização de uma base utilizável, lógica e satisfatória para a mecânica propriamente dita. Mas estes trabalhos permanecem até o fim do século XIX o programa fundamental de cada pesquisador, no domínio da física teórica. Todo acontecimento físico deve ser traduzido em termos de massa, e estes termos são redutíveis às leis do movimento de Newton. A lei da força é a exceção. Em seguida era preciso alargar e adaptar este conceito ao gênero de fatos utilizados pela experiência. O próprio Newton tentou aplicar seu programa à ótica, imaginando a luz composta de corpúsculos inertes. A ótica da teoria ondulatória também empregará a lei do movimento de Newton. Ora, esta teoria não apenas forma os espíritos para o conhecimento da lei da conservação da energia, mas também serve de base para uma teoria dos gases, confirmada em todos os pontos, bem como uma concepção muito elaborada da natureza conforme o segundo princípio da termodinâmica. A teoria da eletricidade e do eletromagnetismo desenvolveu-se de igual maneira até nossos dias, inteiramente sob a influência das ideias fundamentais de Newton (substância elétrica e magnética, forças agindo a distância). Até mesmo a revolução operada por Faraday e Maxwell na eletrodinâmica e na ótica, revolução que constitui o primeiro grande progresso fundamental das bases da Física teórica depois de Newton, mesmo esta revolução se realiza integralmente dentro do esquema das ideias newtonianas.

Nesse sentido, a história da gravitação, representou uma grande síntese de todo o conjunto de estudos dos fenômenos da natureza, iniciando com os primeiros filósofos gregos, adquirindo com a obra de Copérnico inovações teóricas que conduziram à construção de uma nova física do movimento e à superação dos limites impostos pela cosmologia aristotélica (COHEN, 1988). Esse desenvolvimento é parte daquilo que Zanetic afirma: a “Física também é cultura”.

Ao longo dos séculos XVIII e XIX a mecânica newtoniana seria o grande modelo de ciência, inspirando o desenvolvimento de outros ramos da física (eletricidade, magnetismo e calor), bem como movimentos filosóficos e políticos que aspiravam organizar a sociedade, segundo os princípios de uma racionalidade científica. (ABRANTES, 1998).

Neste capítulo, como já foi destacado, pretende-se desenvolver uma abordagem histórico-epistemológica do processo de construção e transformação das ideias científicas que, a partir da contribuição dos pensadores da Grécia antiga, como Aristóteles, Aristarco de Samos e Ptolomeu, entre outros, construíram a base da pirâmide para a emergência da teoria de Copérnico. E a partir daí atuaram em conjunto com outras transformações culturais e filosóficas que permitiram a Isaac Newton promover a ruptura epistemológica representada pela teoria da gravitação universal.

Nosso primeiro desafio foi selecionar conteúdos que pudessem proporcionar aos estudantes a problematização de questões epistemológicas. Um segundo desafio foi adequar esses conteúdos ao nível de escolaridade do ensino médio. Para tanto, alguns tópicos que consideramos muito complexos para esse nível de ensino não foram abordados do material histórico científico.

### **3.1.1 Os pré-socráticos e os pitagóricos**

Bernal (1965, p.164) assinala que os textos gregos trazem argumentos baseados em princípios gerais, ao contrário dos exemplos extraídos de problemas particulares referentes à técnica ou à administração, como os encontrados em textos egípcios e mesopotâmios.

A crença em que o universo é racional, e que seus detalhes podem ser deduzidos a partir de princípios por pura lógica, certamente serviu no início da ciência grega para liberar o homem de superstições (Bernal, 1965, p.165).

Tales, Anaximandro e Anaxímenes são três dos primeiros filósofos pré-socráticos. Todos eles são da mesma cidade de Mileto e do mesmo período do século VI AC. Eles possuem um ponto em comum: ensinavam que todas as coisas se originam em uma única matéria primordial, que seria “o princípio”, em grego “*arque*”. Dois séculos depois, essa ideia foi assim descrita por Aristóteles:

A maioria dos primeiros filósofos pensava que os princípios de todas as coisas eram certos princípios materiais. Eles declararam que o elemento e primeiro princípio das coisas que existem era uma substância que continuava sempre a existir, mas mudava de qualidades, sendo a fonte original de todas as coisas que existem, a partir da qual uma coisa surge e na qual ela finalmente se decompõe. Por esta razão, eles consideravam que não existe um surgimento ou desaparecimento absoluto, tomando como base que essa natureza sempre é preservada. Pois deveria existir alguma substância natural – ou uma, ou mais de uma – a partir da qual as outras coisas surgem, mas que se conserva (Aristóteles, *apud* Martins 2003, pág. 40)

Aqui se encontram as origens da ideia que utilizamos até hoje, de elementos da matéria e de conservação da matéria. Essas ideias não surgiram da observação e do experimento e sim a partir do pensamento e de analogias. Os diferentes filósofos pré-socráticos divergiam em relação ao número e ao tipo de elemento ou princípio de todas as coisas. Tales de Mileto (624 – 546AC), muito citado como o primeiro cientista, acreditava que a Terra era um disco circular que flutuava sobre a água. Ele considerava a água o elemento básico do universo e responsável por tudo que nele existe. A água também serviria para dividir o universo separando a terra e o ar.

Anaximandro (611 - 546 AC) foi outro filósofo pré-socrático, pouco posterior a Tales e que pode ter sido seu discípulo. Este filósofo ensinava que o princípio de tudo era o “apeíron,” que não era água, nem ar, ou qualquer outra coisa de conhecido e palpável. Há muita discussão envolvendo a tradução do significado da palavra “apeíron,”. A palavra pode ser traduzida como “infinito”, ou como “indefinido” ou como “ilimitado”.

Segundo Martins (2012), é possível que ele quisesse indicar, com essa palavra, um tipo de matéria que não corresponde a nada definido, mas que pode assumir a aparência de todos os tipos de substâncias que conhecemos. Ele interpretava os quatro elementos conhecidos (terra, água, ar e fogo) como diferentes formas daquela substância primária indeterminada, envolvidas numa luta contínua e eterna. É pioneiro na ideia do universo ser algo infinito e ilimitado, enquanto que a visão de mundo de sua época é a de que ele é finito. Para ele, o universo era entendido como uma combinação de grande número de mundos.

Outro filósofo importante foi Anaxímenes (550 – 475AC), discípulo de Anaximandro, que critica a filosofia de seu mestre. Para ele, o princípio material de todas as coisas era o ar, sendo a Terra um disco achatado, muito fino, que flutua cercado pelo ar. Também o Sol e a Lua, seriam discos finos, de fogo, que também flutuariam no

ar. Por isso, seus movimentos seriam produzidos também pelo ar. Portanto, o princípio de todas as coisas não pode ser o *aiperon*, pois homens só podem conhecer aquilo que possui alguma determinação.

A primeira teoria unificadora surgiu com Empédocles (492-432AC), filósofo grego que viveu na Sicília. Segundo ele todas as coisas seriam constituídas por quatro elementos básicos, indelévels e imutáveis: “fogo”, “terra”, “água” e “ar”. Estes permanecem eternamente, mesclando-se uns com os outros, em proporções variadas, para formar todas as coisas. Os elementos são, ontologicamente, idênticos e relacionam-se e interagem pela ação de duas “forças”: o amor, que os aproxima (atrai), e o conflito, que os separa (repele). De acordo com o seu raciocínio, a diferença entre um animal e uma pedra seria a proporção entre fogo, terra, água e ar que os constituem (DIELS, 2004).

Uma outra linha de pensamento grega, ainda do século VI A.C., foi iniciada ao redor do filósofo Pitágoras de Samos (569 a 490 A.C) que foi o fundador da escola pitagórica cujos seguidores atribuíam ao número o poder de governar o mundo. Para eles a chave do enigma do Universo estava na matemática e na geometria. A Terra ganha com os pitagóricos, pela primeira vez, a forma do mais perfeito dos sólidos, a esfera.

Zanetic (2007, pág. 21) nos fornece um panorama geral das importantes contribuições dos pitagóricos ao conhecimento científico:

1. Foram os primeiros a considerar esférica a forma da Terra, iniciando o predomínio dos círculos e esferas na descrição dos corpos celestes e seus movimentos;
2. Os primeiros a imaginar a Terra em movimento;
3. Introduziram a medida como modo importante de entender a natureza; por exemplo, estudando a harmonia musical teriam descoberto a relação entre o som e o comprimento da corda de um instrumento musical; associaram desse modo, números à escala musical;
4. Intuíram uma importância cósmica na utilização dos poliedros regulares por eles conhecidos: cubo, tetraedro e dodecaedro. Foram pioneiros da

ligação da matemática à física. Bernal lhes atribui à criação da física-matemática.

Embora os pitagóricos imaginassem a Terra em movimento, essa não era uma visão dominante naquela época. A concepção de Terra esférica, introduzida inicialmente pelos pitagóricos, parece ganhar força no século IV A.C. com Platão (428 a 347A. C.), que concebe um universo em que os corpos celestes descrevem movimentos circulares com velocidades uniformes.

Apesar do paradigma dominante no período iniciado a partir do século IV A.C. ser o modelo geocêntrico, Aristarco de Samos (310 a 264 A.C) propõe o primeiro modelo heliocêntrico de que se tem notícia, mas sua opinião não encontrou grande aceitação, nem na antiguidade, nem na Idade Média. Essa temática será mais detalhada nas seções seguintes.

### **3.2 Por que as coisas pesadas caem?**

No contexto da física antiga, a hipótese do movimento conduzia a complicações de difícil resolução na época. A hipótese da Terra imóvel no centro do Universo era, portanto, bem justificada. Afinal de contas, nenhum grego sentia a Terra mover-se, nem nós! Além disso, essa hipótese havia dado origem a uma astronomia bastante sofisticada, desenvolvida pelos gregos, que tinham conseguido descrever o movimento dos planetas com boa precisão. A ideia é originalmente de Platão que, na seguinte citação introduzia a concepção de mundo esférico e circular:

Para a forma deu-lhe a que lhe convinha e que tinha afinidades com ele. Ora, a forma que convinha ao animal que devia conter todos os animais é a que encerra todas as outras formas. Por isso o deus deu ao mundo a forma esférica, cujas extremidades estão todas a igual distância do centro, sendo esta forma circular a mais perfeita de todas e a mais semelhante a si mesma, pois ele pensava que o semelhante é infinitamente mais belo que o dessemelhante. Além disso, arredondou e poliu toda a sua superfície externa por várias razões.(...) Atribuiu-lhe um movimento ao seu corpo, o dos sete movimentos, que melhor se ajusta à inteligência e ao pensamento. Consequentemente, fê-lo girar uniformemente sobre si mesmo no mesmo lugar e impôs-lhe o movimento circular; quanto aos outros seis movimentos proibiu-os e impediu-o de errar como eles. Como não eram precisos pés para esta rotação, criou-o sem pernas e sem pés.(Platão, apud Zanetic, 2007, p..23).

Platão trata originalmente da forma e do movimento que esse mundo deveria possuir. Foi o primeiro a afirmar que o círculo cujas partes são todas iguais entre si, e

por essa razão uma figura geométrica perfeita, e, como os corpos celestes são eles mesmos perfeitos, o único movimento que lhes é possível é o movimento circular uniforme. Cremos que Platão não procurou responder à pergunta desta seção.

Como discípulo de Platão, Aristóteles tem a árdua tarefa de adequar as ideias platônicas num sistema mais completo, que se firmou como o grande paradigma da ciência grega.

Ainda no século IV A.C., Aristóteles, o grande filósofo grego de Estagira (380 a 322 AC), ao construir sua visão do cosmos, adotou uma concepção muito mais sofisticada da Terra do que aquela apresentada por Platão, como apresentamos na citação abaixo:

(...) lugar, nem vácuo, além dos céus (...). O movimento natural da Terra como um todo, como de todas as suas partes, está dirigido para o centro do universo; esta é a razão de porque ela está no centro do universo, assim, a Terra e o Universo têm o mesmo centro(...) os corpos pesados movem-se para o centro da Terra apenas incidentalmente, pois seu centro está no centro do Universo (...). Assim, a Terra não se move (...) a razão para essa imobilidade é clara(...) é da natureza da Terra mover-se de todos os lados para o centro (como as observações mostram), assim como a do fogo é mover-se para fora do centro (...) é impossível (portanto) para qualquer porção de Terra mover-se para fora do centro(naturalmente) sem coação(...) sua forma deve ser esférica (...) pois, se partes iguais são adicionadas em todas as partes, a extremidade deve estar a uma distância constante do centro. Tal forma só pode ser esférica((Aristóteles, De Caelo. *apud*. Zanetic, 2007, p.25).

Com base nessa citação, Zanetic assinala que está explicitada uma primeira “ideia gravitacional”, ou seja, a concepção de que o centro da Terra, que se confunde com o centro do Universo, seria o lugar natural dos graves. Portanto, a Terra não é o centro do Universo. Ela está no centro do Universo.

Se a natureza de um corpo determina a direção de seu movimento, pode-se dizer que toda a Terra poderia mover-se em direção a um mesmo lugar: o centro do universo. Isto resulta conseqüentemente na admissão do formato esférico como o mais provável para a Terra.

Quando Aristóteles ingressou na Academia, como estudante, Platão trabalhava no *Timeu*<sup>11</sup>, parte fundamental de seus *Diálogos*, e que exerceu forte influência nos

---

<sup>11</sup> Platão, Diálogos, Publicações, Europa- América, Portugal, pág. 260.

trabalhos científicos de Aristóteles. Assim, com Aristóteles consagrava-se a hegemonia das esferas e dos círculos, na descrição e explicação do movimento e forma dos corpos celestes, que permaneceria dominante até o século XVII com o advento dos trabalhos de Kepler, isto é, o que chamamos de paradigma aristotélico-ptolomaico foi dominante por 20 séculos.

Aristóteles lançou várias ideias não apenas sobre os céus, mas também sobre o que existia aqui na Terra. A teoria dos quatro elementos foi retomada por Aristóteles, cujo pensamento serviu de base para a compreensão da natureza até o século XVII, tanto para os aristotélicos convictos quanto para os comentadores críticos de seu pensamento. Ele ainda introduziu um 5º elemento, o éter, que constituía os corpos celestes.

Segundo Aristóteles, cada um desses elementos possui um “lugar natural”, ao qual procura espontaneamente chegar. Os elementos pesados, que são a terra e a água, tendem a se dirigir para o centro do Universo, centro que, como Aristóteles descreve na citação do *De Caelo*, coincide com o centro da Terra. Em contrapartida, o movimento natural do elemento leve, o fogo, tende para fora do centro do universo.

No Universo aristotélico, todos os corpos, sejam celestes ou terrestres, têm seu lugar “natural” e seu movimento local “natural” para este lugar. Todo movimento que não é natural é violento. As ideias físicas principais de Aristóteles sobre o movimento dos corpos podem ser assim resumidas (Zanetic 2007, pág. 26):

1. O movimento de queda dos corpos pesados, ou graves, é natural e dirigido para o centro do universo que coincide com o centro da Terra.

2. A taxa de queda de um corpo depende de dois fatores: seu peso e resistência do meio em que ele se desloca.

3. Os corpos celestes são dotados de movimento natural descrevendo uma trajetória circular perfeita.

4. Todos os corpos pertencentes à Terra, quando em movimento não dirigido para o centro do universo, seu lugar natural, são dotados de movimento violento provocado por algum agente externo a eles. A velocidade dos corpos aumenta com o

aumento da intensidade do agente; quando o agente é removido ou cessa de atuar, o movimento pará.

5. O ar deslocado por um corpo em movimento também é um agente secundário de movimento.

6. Não pode existir movimento não - natural infinito; em consequência não pode existir o vácuo.

A este respeito Luis Pinguelli Rosa faz a seguinte observação:

Aristóteles argumenta que não há necessidade de haver o vazio para haver movimento pela razão de que o lugar cheio pode sofrer mudança qualitativa. Logo, o vazio não é uma condição para a locomoção. Outra razão que ele levanta contra a existência do vazio é que, sendo infinito, nele não haveria em cima nem em baixo nem meio, pois não há diferença no que é nada no vazio, pois o vazio seria a privação do ser, O movimento natural se dá diferenciando em cima de em baixo. Como então poderia haver movimento natural através do vazio? (Rosa apud Zanetic 2007, p.27)

Os aristotélicos consideravam ainda que corpos celestes, além da Terra, estavam associados a esferas concêntricas e transparentes, as esferas de cristal, com centro na Terra. A esfera mais interna era formada pela Lua, seguida pelas esferas dos planetas Mercúrio e Vênus, e depois seguida pelas esferas do Sol, Marte, Júpiter e Saturno. A oitava esfera corresponde às estrelas fixas e a última a um motor – deus – que imprimiria movimento a todo o sistema. A concepção Aristotélica do movimento apesar de apresentar muitos problemas, perdurou durante quase dois mil anos transformando-se no principal dogma no ocidente.

Outro importante resultado dos aristotélicos foi a observação de eclipses da Lua. A Lua é eclipsada na fase da Lua cheia, quando a Terra fica entre o Sol e a Lua. Quando isso ocorre, sabemos que a sombra da Terra é projetada sobre a Lua, a encobrindo total ou parcialmente. E podemos observar partes dessa sombra, que é sempre arredondada. A partir da concepção aristotélica de universo, na qual os corpos celestes giravam em torno de uma **Terra imóvel**, foram construídos modelos matemáticos que buscavam garantir a aparência do que era observado.

Eudoxo, que também viveu no século IV AC, foi o introdutor do complexo sistema de esferas homocêntricas que permitiam reproduzir o movimento celeste. Não é nossa pretensão aqui explorar as várias escolas de pensamento grego mas tão somente

destacar aquelas que influenciaram diretamente o desencadeamento da revolução científica que ocorreu entre os séculos XVI e XVII.

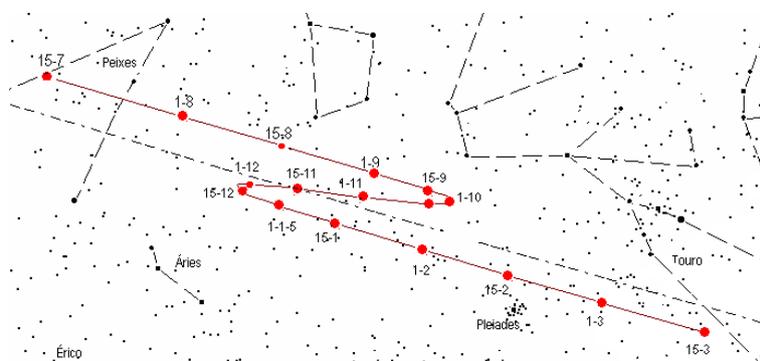
Nesse contexto, não se pode deixar de mencionar os trabalhos do pitagórico Aristarco de Samos (320 – 250 AC) que propunha uma concepção de universo diferente de Platão e de Aristóteles.

Aristarco imaginou o Sol situado no centro do universo e os demais corpos celestes, inclusive a Terra, em movimento orbital ao seu redor. Porém, muito pouco se sabe sobre os escritos de Aristarco, mas os testemunhos de Arquimedes e Plutarco registram a concepção heliocêntrica de Aristarco, que, em linhas gerais, pode ser descrito nas palavras de Plutarco da seguinte forma:

Aristarco de Samos supunha que o céu permanecia imóvel e que a terra se movia num círculo oblíquo, girando ao mesmo tempo sobre o seu eixo. (Plutarco apud Zanetic, 2007, p.28).

Essa concepção foi derrotada pela visão geocêntrica dominante e a astronomia de Aristarco foi esquecida e rejeitada por quase dois mil anos. Deve-se também a Aristarco o cálculo da distância entre o Sol e a Terra.

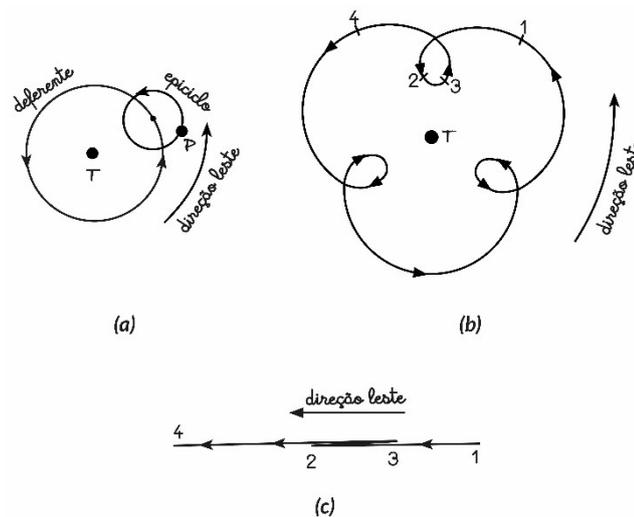
Algo que perturbava os astrônomos geocentristas era o que acontecia com os planetas que, ao contrário da expectativa de movimento circular e uniforme ao redor da Terra, apresentavam um movimento irregular em determinadas partes de sua órbita, como ilustra a **figura 2**. Essa irregularidade foi denominada de movimento retrógrado.



**Figura 2:** A figura mostra o movimento do planeta Marte, de 15 em 15 dias, em relação às estrelas de fundo, no período entre os meses de agosto de 2005 e fevereiro de 2006. Em 06 de novembro o planeta estava em sua maior aproximação com a Terra e melhor de ser observado.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Fonte: Kemper, 2007, p.1

Os planetas não seguem constantemente um movimento uniforme em relação às estrelas fixas. Em certos momentos eles parecem recuar em suas trajetórias, efetuando um movimento retrógrado. Assim, no século II AC, com o intuito *salvar as aparências* do movimento retrógrado dos planetas, Hiparco introduziu um artifício geométrico que considerava um círculo centrado na Terra, o *deferente*, sobre o qual estava centrado outro círculo em movimento, o *epiciclo*, no qual estava localizado o planeta também em movimento. Arranjos desse tipo, ou envolvendo um número maior de epiciclos permitiram explicar o movimento dos planetas vistos da Terra. A **figura 3** ilustra a utilização do artifício dos epicíclicos para explicar os “movimentos errantes” dos planetas.



**Figura 3:** Modelo de epiciclos e deferentes de Hiparco. Em a. vemos a geometria deste modelo; em b., o movimento composto do epiciclo e deferente; e em c., como tal movimento pode ser visto da Terra, incluindo o movimento retrógrado.<sup>13</sup>

O modelo dos epiciclos encontrou sua forma definitiva com o trabalho de Cláudio Ptolomeu, conforme veremos na próxima seção.

### 3.3 O modelo de mundo aristotélico-ptolomaico e a tentativa de salvar as aparências

Claudio Ptolomeu (100 a 170 DC), considerado um dos maiores astrônomos da Antiguidade, desenvolveu um sistema que dominou hegemonicamente o cenário

<sup>13</sup> Fonte: Kuhn, 1974 apud Zanetic 2007

astronômico até o aparecimento do sistema copernicano no século XV. No sistema de Ptolomeu, os planetas (assim também como a Lua e o Sol) se movem sobre “epiciclos”, círculos centrados em pontos imaginários que se deslocam sobre “os deferentes”, círculos centrados na Terra como mostra a figura 4.

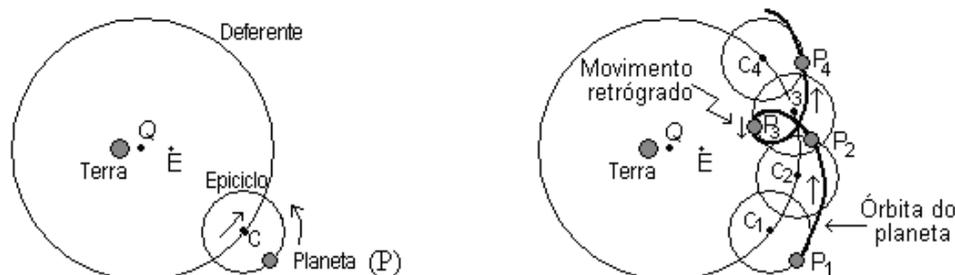


Figura 4:- Modelo de Ptolomeu.<sup>14</sup>

No entanto, como o sistema inicial de deferentes e epiciclos não conseguia explicar totalmente os fenômenos observados, Ptolomeu reestruturou seu modelo, deslocando os centros dos deferentes relativamente ao centro do globo terrestre e supondo que os centros dos epiciclos efetuam movimentos uniformes não com relação aos centros dos deferentes, mas com relação a uma segunda variedade de pontos imaginários, “os equantes”.

O sistema assim obtido era muito complexo. Ptolomeu elaborou uma Astronomia que se equilibrava entre os conceitos aristotélicos e as observações. Koestler (1989) salienta que Ptolomeu completou o trabalho inacabado de Hiparco, sem contudo contribuir com alguma ideia.

Ao contrário do que afirma Koestler, Roberto Martins faz o seguinte comentário sobre a obra de Ptolomeu:

Quem nunca sequer folheou o **Almagesto** de Ptolomeu dificilmente poderá imaginar o esforço titânico que encerra. Enorme número de dados cuidadosamente selecionados; um rigoroso tratamento matemático (com o uso de trigonometria esférica); uma genial intuição para vislumbrar arranjos geométricos simples capazes de descrever os fenômenos; o uso desses arranjos para fazer previsões astronômicas. (...) A proposta de Ptolomeu é ciência, do mais alto nível. Os astrônomos que o seguiram não eram também idiotas dobrados sob o jugo da autoridade e do passado. Eram pessoas que

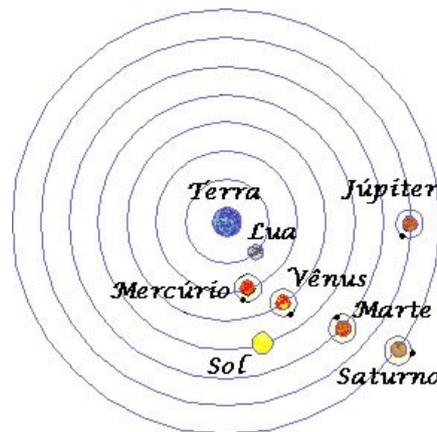
<sup>14</sup> Fonte: Kemper, 2007,p.11.

adotavam a proposta geocêntrica de Ptolomeu por perceberem seu enorme valor e por não conhecerem uma alternativa que estivesse a seus pés.<sup>15</sup>

Concordamos com Martins, pois o paradigma aristotélico - ptolomaico resolvia uma série de problemas básicos, como as fases da Lua, permitindo ainda a previsão de eclipses do Sol e da Lua, como também era muito utilizado na localização de navios em alto mar através da posição das estrelas. As estações do ano encontravam também uma explicação no sistema ptolomaico.

A combinação de tais artificios resultava em um sistema altamente complexo que, apesar das críticas que recebeu, não encontrou durante séculos um adversário à altura. Parece que o próprio Ptolomeu não se preocupou com a realidade física de seu sistema, encarando-o como um “modelo” do universo, capaz de permitir ao astrônomo realizar predições. Cohen (1967) salienta que isto representou o ponto alto do ideal grego.

Embora frequentemente menos elaborada, esta maneira de encarar a Ciência é muito semelhante à do físico do século XX, cuja ambição é também produzir um modelo que resulta em equações capazes de prever os resultados da experiência – e muitas vezes ele se vê obrigado a se contentar com equações, na ausência de um “modelo”, que possa ser construído. (Cohen, 1967, p.35).



**Figura 5:** Sistema Planetário baseado no modelo Ptolomaico.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Roberto de Andrade Martins. *Commentarioulus*, de Nicolau Copérnico. Nova Stella Editorial, São Paulo, 1990,p.58/59.

<sup>16</sup> Fonte: Fishbane et al., 1996,p.321.

A cosmologia de Ptolomeu era perfeitamente coerente com a doutrina aristotélica, o que implicava na não necessidade de uma nova física para explicar os fenômenos observados na época.

Esse modelo conseguia ajustar dados observacionais para os quais o sistema aristotélico permanecia sem respostas. Entretanto, não era simples aceitar que de fato corpos celestes podiam orbitar em torno de pontos geométricos no espaço.

Muito homem de saber não podia crer que um sistema de quarenta ou mais “rodas dentro de rodas” poderia talvez estar rodando no céu, que o mundo fosse tão complicado. Conta-se que Afonso X, rei de Leão e Castela, chamado Afonso o Sábio, que manteve um famoso grupo de astrônomos não podia acreditar que o sistema do universo fosse tão intrincado. Quando a princípio lhe ensinaram o sistema ptolomaico, comentou ele, segundo a lenda “Se o Senhor Todo Poderoso me tivesse consultado antes de começar a criação, eu teria recomendado alguma coisa mais simples” (Cohen, 1967, p.38).

Segundo Zanetic (2007), a produção científica dos gregos sofreu um período de estagnação e até retrocesso no período compreendido entre o início da era cristã e o surgimento da mecânica nos séculos XVI e XVII. A concepção de universo esférico dos gregos era incompatível com a doutrina da Igreja, baseada em uma interpretação literal da Bíblia.

Koestler (1989 apud Zanetic 2007) afirma que a cosmologia deste período volta diretamente aos babilônios e hebreus e é dominada por duas ideias principais: 1) que a Terra tem o formato do Santo Tabernáculo e 2) que o firmamento está envolvido por água. O autor destaca um trecho da *Topographica Christiana* escrita pelo monge Cosmas no século VI:

O Santo Tabernáculo, descrito no Êxodo, era retangular e duas vezes mais longo do que largo; logo, a terra possui a mesma forma, e está situada no sentido do comprimento de Leste a Oeste, no fundo do universo. Circunda-a o oceano, como a mesa de pão, no ritual judaico, está rodeada pela franja ondulada; e o oceano está rodeado por outra terra, o lugar do Paraíso, e habitação do homem até o dia em que Noé atravessou o oceano, estando agora desabitada. Das extremidades dessa terra exterior e deserta se erguem quatro planos verticais, que são as paredes do universo. O teto é um semicilindro repousando sobre as paredes do norte e do sul, o que dá ao universo o aspecto de barraca ou de baú de viagem com uma tampa curva.

Contudo, o piso, isto é, a terra, não é chato; pelo contrário, inclina-se de noroeste a sudeste, pois está escrito no Eclesiastes I, 5 que “o sol desce e volta ao lugar onde nasceu”. Consequentemente, os rios, como o Eufrates e o Tigre, que correm para o sul, possuem corrente mais rápida que o Nilo que corre “para cima”; e os barcos navegam mais depressa para o sul e leste do que os que devem “subir” para o norte e o oeste, sendo estes últimos

chamados “indolentes”. As estrelas são levadas por anjos, pelo espaço abaixo do teto do universo, e ficam ocultas quando passam atrás da parte norte da Terra, encimada por gigantesca montanha cônica, a qual oculta o sol da noite, sendo o sol muito menor que a terra. (Topographica Christiana. *apud*. Koestler, 1989, p. 57).

A despeito de toda a produção anterior, nessa época, para muitos pensadores, a Terra “volta a ser plana”. Apesar disso, nem só de retrocessos vive este período. Alguns pensadores passam a questionar a dinâmica aristotélica, dando início à construção de uma explicação sobre o movimento baseada na admissão de uma **força impressa** ao corpo. Este aspecto merece destaque, uma vez que as pesquisas mostram que muitos de nossos estudantes possuem concepções acerca do movimento, muito semelhantes àquelas desenvolvidas nesse período histórico. Parece surgir com Hiparco (século IV A.C.) a crítica à concepção aristotélica de movimento. Para este astrônomo, quando um corpo abandona o lançador, continua se movendo graças à ação de uma força que lhe foi transmitida e se esvai no decorrer de sua trajetória. O mesmo tipo de argumento é utilizado por João Filopono (século VI D.C) que atribui ao meio apenas a função de resistir ao movimento. Em consequência, nessa abordagem existe a possibilidade de movimento no vácuo, já que o ar não mais possui o caráter de “propulsor”. A “lei de movimento” de Filopono indica que a velocidade de deslocamento de um corpo é proporcional à diferença entre a força e a resistência.

Somente a partir dos séculos VIII e IX é que as obras gregas passam a ser redescobertas, e os clérigos começam a ter permissão para estudá-las. Foi com São Tomás de Aquino, no século XIII, que o sistema aristotélico ganhou força e passou de conhecimento proibido à condição de dogma da Igreja. A física aristotélica, entretanto, não escapou das críticas e a física do *impetus* ganhou novos articuladores. Jean Buridan (1300 a 1358) propõe um *impetus* que difere da noção de Filopono e Hiparco no sentido em que é permanente e só pode ser dissipado por agentes externos. Assim, este pensador descarta a possibilidade do vácuo, pois isso implicaria em um movimento infinito. Para Buridan o *impetus* era proporcional à quantidade de matéria, o que denominamos atualmente de massa do corpo, e à sua velocidade e seria indistintamente aplicado a movimentos lineares e circulares.

Entretanto, como afirma Zanetic (2007) uma “característica marcante da definição de *impetus*, que estava presente entre os pensadores medievais é que havia uma confusão entre causa e efeito do movimento por parte do *impetus*”. Segundo ele:

(...) às vezes o *impetus* era entendido como força que provocava o movimento – causa do movimento – e às vezes era entendido como qualidade do movimento – efeito do movimento. É por isso que não se pode falar num princípio de inércia em Buridan e seus contemporâneos. (Zanetic,2007, pág. 50).

Nicolau de Cusa, no século XV, seguidor de Buridam, atribuía o movimento das esferas celestes à ação do *impetus*, Cusa já havia escrito sobre o *impetus* circular, discutindo a possibilidade do movimento perpétuo sobre uma terra perfeitamente lisa, idéia que foi posteriormente utilizada por Galileu.

Desse modo, a mecânica terrestre começava a se encontrar com a mecânica celeste. A herança grega, principalmente a de Aristóteles, chegaria às mãos que haveriam de provocar uma verdadeira revolução, a **revolução copernicana**, entre eles, Copérnico, Bruno, Kepler, Galileu, Descartes e, finalmente, Newton.

### 3.4 Preparando o terreno...

Nos séculos XVI e XVII, a Europa passa por uma fase de grande ebulição cultural e revolução científica. É no século XVI que surge Nikolaj Koppwenigk (1473-1543) conhecido na Europa com o nome latinizado de Copernicus. Ingressa em 1491 na Universidade de Cracóvia onde estudou as artes liberais que incluíam, entre outras coisas, o estudo da Matemática e da Astronomia. Sem ter obtido nenhum título na Cravóvia, em 1496 Copérnico matricula-se na Universidade de Bolonha na Itália, para estudar Direito Canônico. Foi neste período que se familiariza com as obras de Platão e manteve contato com o astrônomo neo-platônico Domênico Maria Novara (1454-1504), que criticava o sistema de universo de Ptolomeu por achá-lo confuso, não coerente com a física aceita na época. Neste período teria lido o *Almagesto* de Ptolomeu.

Depois de seu retorno da Polônia, Copérnico escreveu uma pequena obra o *Commentariolus*<sup>17</sup>, a qual ele divulga a sua primeira descrição de um sistema em que a Terra se encontre em movimento e o Sol ocupa posição central no universo, sem indicar como poderiam ser feitos cálculos detalhados(PEDUZZI, 2008).

---

<sup>17</sup> Nicolau Copérnico, *Commentarioulus*. Trad. e notas de Roberto de Andrade Martins( São Paulo, Nova Stella, 1990)

Nesse pequeno livro, o jovem Copérnico apresentava sete axiomas ou exigências revolucionárias:

PRIMEIRA EXIGÊNCIA - Não existe um centro único de todos os orbes ou esferas celestes.

SEGUNDA EXIGÊNCIA - O centro da Terra não é o centro do mundo, mas apenas o da gravidade e do orbe lunar.

TERCEIRA EXIGÊNCIA - Todos os orbes giram em torno do Sol, como se ele estivesse no meio de todos; portanto, o centro de universo está perto do Sol.

QUARTA EXIGÊNCIA - A razão entre a distância do Sol à Terra e altura do firmamento é menor do que a razão entre o raio da Terra e a sua distância ao Sol; e com muito mais razão esta é insensível confrontada com a altura do firmamento.

QUINTA EXIGÊNCIA - Qualquer movimento aparente no firmamento, não pertence a ele, mas à Terra. Assim a Terra, com os elementos adjacentes, gira em torno dos seus polos invariáveis em um movimento diário, ficando permanentemente imóveis o firmamento e o último céu.

SEXTA EXIGÊNCIA - Qualquer movimento aparente do Sol não é causado por ele, mas pela Terra e pelo nosso orbe, com o qual giramos em torno do Sol como qualquer outro planeta. Assim, a Terra é transportada por vários movimentos.

SÉTIMA EXIGÊNCIA - Os movimentos aparentes de retrogressão e progressão dos errantes não pertencem a eles, mas à Terra. Apenas o movimento desta é suficiente para explicar muitas irregularidades aparentes no céu (Copérnico, 2003, p. 114).

Uma breve análise da primeira exigência, Copérnico rejeita os sistemas homocêntricos, normalmente adotados pela maior parte dos seus contemporâneos. Na segunda exigência, percebemos seu afastamento da concepção geocêntrica. Ainda faz clara a distinção entre o centro do universo e o centro de gravidade. Neste ponto, observamos que temos uma contradição, pois ao retirar a Terra do centro do Universo, Copérnico rejeita a física aristotélica, contudo ao mantê-la como centro de gravidade ele continua explicando a queda dos graves em termos aristotélicos. Nesta os graves tendem

a se movimentar em direção ao centro do universo – o centro da Terra (ZANETIC, 2007).

Na realidade, Copérnico não tinha uma física para substituir a física aristotélica. E sua teoria não foi logo aceita, pois sua teoria parecia colidir com toda a ciência vigente na época, além de colidir com toda a tradição cultural e religiosa. Mas algumas pessoas começam a se convencer que a teoria de Copérnico era verdadeira como veremos na próxima seção.

Na terceira exigência, Copérnico simplesmente afirma que o Sol está parado e que os orbes giram em torno dele, sem justificar essa ideia. Note-se que ele não é colocado no centro dos orbes planetários, por que Copérnico irá utilizar círculos excêntricos. Por esse motivo, pode ser preferível dar o nome de “heliostático” e não “heliocêntrico” para essa teoria. Nesta época não se sabia que o Sol também gira. A descoberta da rotação do Sol ocorreu no início do século seguinte, pela observação das manchas solares, que servem como referência para se perceber que o Sol está girando. Com a quarta exigência, Copérnico postula que a distância da Terra ao Sol é muito pequena em comparação com aquela entre o Sol e a esfera das estrelas fixas. Com este procedimento ele justifica, por exemplo, a ausência de observações de paralaxe das estrelas, ampliando, em muito, o universo conhecido desde os gregos, que já haviam levantado este problema para não aceitar o sistema heliocêntrico proposto por Aristarco de Samos.

Na quinta exigência, Copérnico atribui à Terra um movimento diário de rotação em torno do seu próprio eixo. Para justificar uma das objeções, a este movimento, argumenta que os elementos adjacentes (ar, nuvens, pássaros) acompanham o seu movimento. Ao afirmar que os “elementos adjacentes” à Terra giram com ela, Copérnico está admitindo que o ar, as nuvens, etc acompanham seu movimento – uma suposição importante para responder a argumentos antigos contra a rotação da Terra.

Os dois últimos princípios estabelecem que certos movimentos que observamos nos corpos celestes não pertencem a eles, mas à Terra. Em particular, Copérnico vai procurar mostrar que os planetas não possuem realmente movimento de retrogradação e paradas, e que essas aparências são devidas ao movimento da Terra.

Este argumento retoma a questão da relatividade dos movimentos, abordada por Oresme (1325-1382) no século XIV e que esta presente na reflexão teórico-cosmológica de Nicolau de Cusa (1401-1464), desenvolvida um pouco antes do nascimento de Copérnico. (Kuhn, 1990).

Na sexta exigência, Copérnico postula que o movimento anual atribuído ao Sol é apenas um movimento aparente. É a Terra que efetua este movimento, atravessando o Zodíaco ao longo do ano, criando assim a ilusão de que este movimento é efetuado pelo Sol, que se encontra sempre na extremidade oposta à Terra. Ao admitir o movimento orbital da Terra ao redor do Sol permite a verificação de um fenômeno de mudança aparente da posição dos corpos celestes em épocas diferentes do ano.

É através da sétima exigência que Copérnico explica as irregularidades do movimento dos planetas.

Na construção de sua teoria definitiva, publicada em 1543, Copérnico quase não fez observações astronômicas. Nessa obra, o *De Revolutionibus (As Revoluções dos Orbes Celestes)*, ele cita apenas 27 medidas por ele realizadas. No entanto, como afirma Martins (2003, p.78) “nenhuma dessas medidas foi necessária nem suficiente para a edificação de sua teoria.” Essa obra é um tratado enorme, detalhado, com todas as informações necessárias para os cálculos astronômicos, com tabelas, etc. E alguns princípios utilizados nesta obra são diferentes dos expostos no *Commentariolus*. Como há um intervalo de tempo de aproximadamente 30 anos entre a divulgação do *Commentariolus* e a publicação de *As Revoluções dos Orbes Celestes*, chega-se à conclusão que Copérnico deveria estar ciente de que seu sistema de universo, com o Sol ocupando o lugar da Terra, não seria aceito. No prefácio dessa obra pode-se ler:

Mas os amigos me arrancaram à indecisão e mesmo à relutância em que andava, há longo tempo, entre os quais esteve Nicolau de Schonberg, cardeal de Cápua, célebre em todo o tipo de conhecimento, e um homem a ele semelhante, o meu muito querido amigo Timedan Gísio, bispo de Cúlmen, por ser profundamente interessado pelas ciências sagradas e por todas as belas letras. Foi ele na verdade que frequentemente me exortava e, de mistura por vezes com censuras, me instava a que deixasse publicar e dar finalmente a lume esta minha obra que estava escondida, retida em minha casa, não apenas há nove anos, mas há quatro vezes nove<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> Nicolau Copérnico, *As Revoluções dos Orbes Terrestres*; Lisboa:Fundação Calouste, Gulbenkian, 1984, p.6.

Copérnico ainda se refere a uma carta enviada a sua Santidade Paulo III, escrevendo o seguinte:

[...] hesitei comigo durante muito tempo se havia de dar a lume os meus *Comentários* escritos para demonstração desse movimento [da Terra], ou se seria proferível seguir o exemplo dos pitagóricos e de alguns outros que procuravam confiar os mistérios da filosofia aos seus familiares, amigos e a ninguém mais, não por escrito mas de viva voz, tal como atesta a carta de Lísis a Hiparco.[...]<sup>19</sup>

O sistema copernicano tinha muitas semelhanças com o sistema ptolomaico, utilizando inclusive epíclis e deferentes na descrição dos fenômenos<sup>20</sup>.

Copérnico reconheceu que, ao supor que os planetas estão em órbita em torno do Sol em vez de estar em órbita em torno da Terra, ele poderia facilmente explicar o movimento retrógrado observado em alguns planetas tal como Marte. O movimento retrógrado não é um movimento real, mas sim um movimento aparente. Ele ocorre devido à diferença nas velocidades dos planetas. O planeta não recua ao longo de sua trajetória. O que acontece é que a projeção do seu movimento sobre a esfera celeste reproduz um aparente movimento retrógrado.

Ele postulou isso citando um suposto antigo axioma da física que dizia que “nada infinito pode ser movido” e daí concluiu que os céus deveriam estar em repouso. Ele também argumentou que a imobilidade era mais nobre e mais divina do que a instabilidade e, deste modo, ela deveria pertencer ao céu e não à Terra.

Tal necessidade surgiu uma vez que Copérnico não questionou a validade do movimento circular na trajetória dos corpos celestes, e assim alguns detalhes do movimento planetário não podiam ser explicados sem o auxílio de tais artificios. A grande inovação de Copérnico foi atribuir à Terra a mesma posição hierárquica ocupada pelos demais planetas, reservando ao Sol o centro do universo.

Em sua obra, Copérnico aponta as limitações da solução dada por Eudoxo de Cnido (408 - 355 a.c) e Calipo de Cízico (370-300 a.c), que tentaram resolver o

<sup>19</sup> Ibid, p.7.

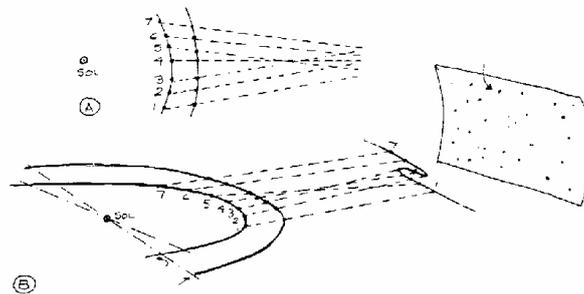
<sup>20</sup> O anúncio preliminar de Copérnico no *Commentariolus* assinalava a necessidade de 34 esferas para descrever os movimentos celestes. Entretanto, no *De revolutionibus*, o autor viu-se obrigado a utilizar 48 esferas. Contrariando a crença popular, o sistema copernicano não reduziu o número de círculos. O modelo ptolomaico revisado por Peurbach no século quinze exigia 40 círculos e não 80, como afirmava Copérnico. (Cf. Koestler, 1989).

problema com o modelo das esferas concêntricas. Eudoxo elaborou um complexo sistema explicativo para o movimento do Sol, da Lua e dos planetas ao redor da Terra, estacionária. Foram vinte e sete esferas móveis de Eudoxo: três para o Sol, três para a Lua, quatro para cada planeta e mais a esfera das estrelas fixas, que engloba todo o conjunto. Calipo, que estudou com Eudoxo, refinou o modelo de seu mestre, acrescentando-lhe mais sete esferas. (PEDUZZI, 2007).

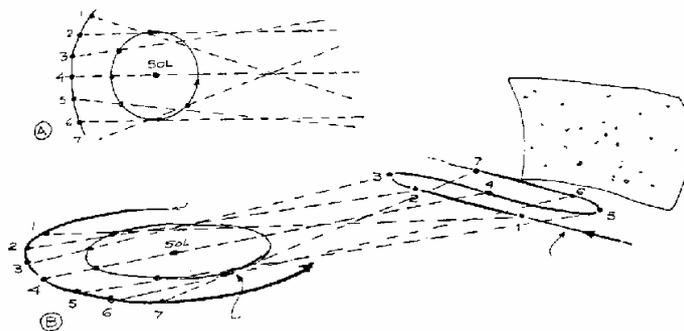
Nesse modelo, o movimento de cada planeta era concebido como resultante da rotação simultânea de um conjunto de esferas concêntricas à Terra; sendo que cada esfera girava uniformemente em torno de um eixo afixado à esfera seguinte. Explicita que os artificios dos excêntricos e epiciclos, usados na astronomia ptolomaica, também se mostravam insuficientes.

A nova abordagem permitiu a Copérnico explicar o movimento aparente da Lua, Sol, estrelas e planetas a partir do giro diário da Terra em torno de seu eixo.

- a) O movimento retrógrado dos planetas explicado, pois como cada planeta possui um período de revolução diferente - que será maior quanto mais distante estiver do Sol – o movimento retrógrado torna-se um movimento aparente causado pela diferença nas velocidades e, como isso ocorre quando o planeta está mais próximo da Terra, seu brilho é mais intenso.



**Figura 6:-** No sistema de Copérnico, o movimento retrógrado aparente dos planetas tem uma explicação simples: é uma questão de velocidades relativas. Aqui as linhas de visada mostram porque um planeta superior, mais afastado do Sol do que a Terra parece inverter o sentido do seu movimento. Ele viaja ao redor do Sol mais lentamente que a Terra (Figura e texto extraídos de Cohen, 1967, p. 43).



**Figura 7:** O movimento retrógrado de um planeta inferior, cuja órbita se acha entre a Terra e o Sol, é também prontamente explicado com as linhas de visada. Vênus viaja ao redor do Sol mais rapidamente que a Terra. (Figura e texto extraídos de Cohen, 1967, p. 44).

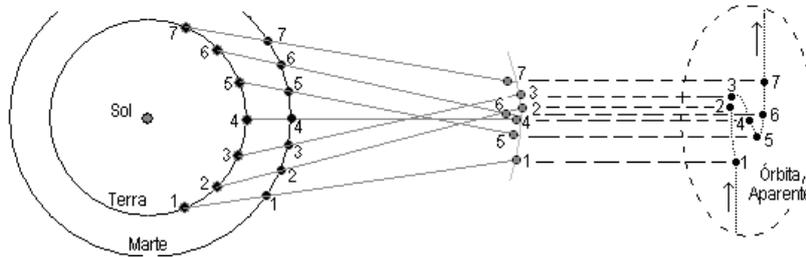
- b)** Como Mercúrio e Vênus estão sempre próximos ao Sol, confirma-se que estão entre a Terra e o Sol.
- c)** Marte, Júpiter e Saturno estão às vezes em oposição ao Sol, pois suas órbitas em torno do Sol têm raios maiores que os da órbita da Terra.
- d)** As distâncias de Mercúrio e Vênus ao Sol são facilmente obtidas
- e)** O sistema Copernicano permite o cálculo do período dos planetas pela observação dos tempos decorridos entre dois máximos consecutivos dos movimentos retrógrados.

Reenfatizando as figuras acima: o movimento retrógrado dos planetas, no modelo de Copérnico, ocorre sempre que a Terra passa entre o Sol e o planeta (exterior à órbita da Terra), realizando uma ultrapassagem. Isto ocorre porque a Terra avança mais rapidamente em sua órbita ao redor do Sol do que o planeta que está mais distante e em relação às estrelas ao fundo o planeta realiza movimento retrógrado. O movimento aparente descrito por um planeta, em relação às estrelas fixas (note que no modelo de Copérnico o orbe das estrelas fixas permanece estacionário), se realiza na maior parte do tempo, de Oeste para Leste (o planeta “perde a corrida<sup>21</sup>” com as

---

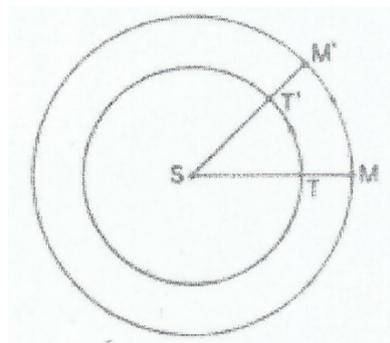
<sup>21</sup> No sistema heliocêntrico, o orbe das estrelas fixas permanece estacionário. Mas, devido ao movimento de rotação da Terra em torno do seu eixo, no sentido de Oeste para Leste, com período médio de 23h56 min, tem-se a impressão que é o orbe das estrelas que gira de Leste para Oeste, com o mesmo período. Portanto, a Lua, o Sol e os planetas “perdem a corrida” com as estrelas.

estrelas, estaciona, retomando, finalmente, seu movimento de Oeste para Leste. Cada vez que o planeta pára, retrocede, pára de novo e retoma o movimento direto, ele realiza uma “volta” ou “laçada”, e esse fenômeno é cíclico, mas não exatamente periódico: o tempo sofre variações, mantendo no entanto um certo valor médio.



**Figura 8:** Como Marte é mais lento em seu movimento em torno do Sol, a Terra o ultrapassa a cada quase dois anos, e devido a essa ultrapassagem Marte parece retroceder no céu, o que na verdade não acontece. É apenas seu movimento aparente em relação às estrelas de fundo.<sup>22</sup>

Assim, o sistema copernicano permite o cálculo dos períodos dos planetas pela observação tempos decorridos entre dois máximos consecutivos dos movimentos retrógrados (ZANETIC, 2007). Consideremos o planeta Marte, que é um planeta superior, isto é, cuja órbita envolve a órbita da Terra. Sejam T e M as posições da Terra e de Marte, respectivamente, quando ambos se encontram de um mesmo lado do Sol S e com ele alinhados (**figura 9**). Desse modo, Marte está em *oposição* (ao Sol relativamente à Terra). Assim, Marte é visto no zênite à meia-noite. Ele nasce quando o Sol se põe e se põe ao nascer do Sol. Para o planeta Marte esse tempo é de 780 dias.(ÁVILA, 2011)



**Figura 9: Terra e Marte**<sup>23</sup>

<sup>22</sup> Fonte: Kemper, 2007, p.72

<sup>23</sup> Fonte: (Ávila, 2011, p.170)

O método para calcularmos o período sideral, pode ser realizado por meio de métodos trigonométricos elementares. Observando que a velocidade angular de Marte é menor que a da Terra. Assim, a Terra vai ultrapassando Marte.

O período sideral é definido como o intervalo de tempo para o planeta dar uma volta completa em torno do Sol. Para calcularmos o período sideral, observemos primeiro que a velocidade angular de Marte é menor que a da Terra. Outro ciclo é o período sinódico definido como o intervalo de tempo entre duas configurações idênticas, por exemplo, o intervalo de tempo entre duas oposições. Assim, em 780 dias (tempo entre duas oposições), a Terra terá dado duas voltas em torno do Sol e se deslocado ainda, ao longo de um arco  $TT'$  (figura 9), durante os 50 dias restantes. Considerando a uniformidade do movimento da Terra, teremos a proporção:

$$\frac{TT'}{50} = \frac{360}{365} \therefore TT' = 49^\circ$$

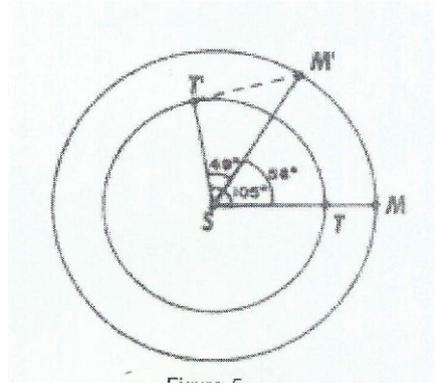
Portanto, durante os 780 dias, Marte completou uma volta em torno do Sol mais o arco  $MM'=TT' = 49^\circ$ . Então, se  $P$  é o período sideral de Marte teremos a proporção:

$$\frac{P}{360} = \frac{780}{360 + 49} \therefore P \cong 687 \text{ dias}$$

Segundo Ávila (2011), Copérnico calculou os períodos sinódicos de Júpiter e Saturno que são respectivamente 399 dias e 378 dias respectivamente. Os períodos siderais correspondentes serão, aproximadamente, 11,8 anos e 29,5 anos respectivamente. Um método parecido permite calcular os períodos siderais dos planetas inferiores.

### **Distância de Marte ao Sol**

O período sideral de um planeta superior é fundamental para o cálculo de sua distância ao Sol, como no caso de Marte. Supondo que Marte em  $M$  esteja em oposição, com a Terra estando em  $T$  e o Sol em  $S$ , como ilustra a **figura 10** abaixo:



**Figura 10:** Terra e Marte <sup>24</sup>

Por observação, sabemos que 106 dias após, a Terra e Marte se encontrarão em posições T' e M' respectivamente, tais que  $ST'M' = 90^\circ$ . Nesse período de 106 dias, a Terra percorre uma distância angular  $\alpha$ , de aproximadamente  $105^\circ$ . O planeta Marte terá descrito um ângulo  $\beta \approx 56^\circ$  pois:

$$\frac{\beta}{106} = \frac{360^\circ}{687}$$

Como consequência  $T'SM = 105 - 56 = 49^\circ$ . Finalmente, o triângulo retângulo nos dá:

$$SM' = \frac{ST'}{\cos 49^\circ} \approx \frac{ST'}{0,65606} \approx 1,5 ST'$$

Assim, a distância de Marte ao Sol é 1,5 vezes a distância da Terra ao Sol. Copérnico empregou o mesmo método para calcular as distâncias de Júpiter e Saturno ao Sol. Portanto, observamos que os cálculos dessas distâncias dependem dos períodos siderais dos planetas, os quais são ligados à hipótese heliocêntrica de Copérnico.

Essas distâncias, portanto, só podiam ser calculadas por Copérnico ou pelos que lhe sucederam depois.

Copérnico não foi capaz de desenvolver uma física que sua proposta de modelo heliocêntrico exigia, e ainda algumas de suas explicações sobre o movimento são impregnadas com noção aristotélica de lugar natural.

---

<sup>24</sup> Fonte: Ávila (2011, p.171)

Em suas observações sobre o texto de Copérnico, Martins (2003, p.79) comenta:

A contribuição básica de Copérnico foi tirar a Terra do Centro do universo e colocá-la em movimento em torno do Sol. Mas é preciso deixar claro o que isso significa. Copérnico não observou jamais, nem poderia ter observado, que é a Terra que se move em torno do Sol e não o contrário. Nossas observações são geocêntricas. Copérnico, como outros antes dele, imaginou primeiramente que era possível (não era absurdo) pensar que a Terra se move e tentar explicar as aparências. Em segundo lugar, elaborou uma teoria matemática detalhada que pudesse dar conta das observações(...) Copérnico foi admirado, estudado e respeitado em sua época pelo alto nível de seu trabalho matemático de detalhe, não por haver simplesmente sugerido uma ideia.

Portanto, a superioridade do modelo heliocêntrico de Copérnico era nítida e clara em relação ao modelo geocêntrico de Ptolomeu. Sua contribuição à Matemática estendeu-se a um tratado de trigonometria, matéria que era de seu inteiro conhecimento e alguns conceitos de Geometria esférica. Na Astronomia, colocou o Sol no centro do Sistema Solar com os planetas orbitando à sua volta, inclusive a Terra. Essa ousadia foi a causa do primeiro rompimento, com a tradição da velha cosmologia ou da antiga Astronomia medieval. Esse rompimento seria o embrião de várias perguntas que somente seriam resolvidas por Kepler, Galileu e Newton.

Os estudiosos que defendiam a imobilidade da Terra, bem como sua posição central no Universo, levantavam contra a teoria heliocêntrica de Copérnico uma série de argumentos de natureza científica e filosófica que tornava extremamente problemática a sua aceitação, à luz da estrutura conceitual e da precisão observacional da época. Após a publicação do *De revolutionibus orbitum coelestium* – que permaneceu esquecido até o final do século XVI – outros trabalhos ajudaram a edificar o heliocentrismo, provocando a revolução (gradual) que substituiu definitivamente as idéias aristotélicas. Thomas Digges (1545 a 1595), seguidor das idéias copernicanas, em sua obra *A Perfect Description of the Coelestiall Orbes* (1576) apresenta uma tradução em inglês de parte do *De revolutionibus orbitum coelestium*. Digges mergulha o sistema copernicano em um mar de infinitas estrelas.

[...] foi o primeiro copernicano que substituiu a concepção do seu mestre, a de um mundo fechado, pela de um mundo aberto, e que na sua descrição, onde oferece uma tradução bastante boa, ainda que um pouco livre, da parte cosmológica do *De revolutionibus orbitum coelestium*, aí estabelece algumas associações admiráveis. Assim, ao falar do orbe de Saturno, ele informa-nos que esta orbe é “de todas as outras a mais próxima dessa orbe infinita imóvel ornada de luzes inumeráveis” que ele substitui à esfera das estrelas fixas de

Copérnico. Seguidamente, substituí o diagrama do mundo de Copérnico por um outro diagrama, no qual as estrelas estão colocadas sobre toda a página, acima e abaixo da linha pela qual Copérnico representava a *ultima sphaera mundi* (Koyré, 1979, p.42).

Outros defendiam o sistema copernicano, como Tycho Brahe no século XVI, o mais famoso dos astrônomos da época, responsável pelas melhores observações astronômicas efetuadas sem o auxílio do telescópio, é um exemplo da época que não aceitava de modo algum o novo candidato a paradigma e, ao contrário disso, tentou *corrigir* o paradigma dominante, isto é, tentou uma nova articulação do paradigma ptolomaico, ou seja, procurou acomodar as observações com a teoria dominante.

### **3.5 As Contribuições de Tycho Brahe, Kepler, Giordano Bruno e Galileu**

Giordano Bruno (1548-1600) nasceu em Nápoles na Itália e foi muito além de Copérnico, do ponto de vista filosófico. Admitiu que as estrelas mais distantes de nós do que qualquer planeta ou do que o Sol são outros tantos sóis, com planetas à sua volta. O nosso mundo, com a Terra, o Sol, a Lua e os planetas, seria apenas um dos infinitos mundos em um universo infinito. Em sua obra “*A ceia dos penitentes*”, Bruno considera que Copérnico libertou a humanidade de uma prisão intelectual, expandindo o universo até o infinito:

Quem poderia louvar dignamente a grandeza desse alemão<sup>25</sup> que, com pouca consideração pela multidão tola, voltou-se contra a torrente de vulgar que libertou o espírito humano e o conhecimento que estavam limitados na prisão estreita do ar turbulento onde, como por certos furos, as estrelas distantes poderiam nos olhar...Ele que atravessou o ar, penetrou o céu, espalhou as estrelas pelo infinito, rompeu as fronteiras do mundo, dissipou as fantásticas muralhas da primeira esfera, da oitava, da décima e de quantas outras quiserem adicionar (Bruno *apud* Martins, 2012, p.87).

Na verdade, Bruno vai muito mais longe do que Copérnico. Ele defende a ideia de um universo infinito. Copérnico não chega a defender a ideia de um universo infinito, embora tenha afirmado que as estrelas estariam muito mais distantes de nós do que se pensava. A concepção de universo infinito de Bruno estava ligada à sua concepção religiosa (MARTINS, 2012).

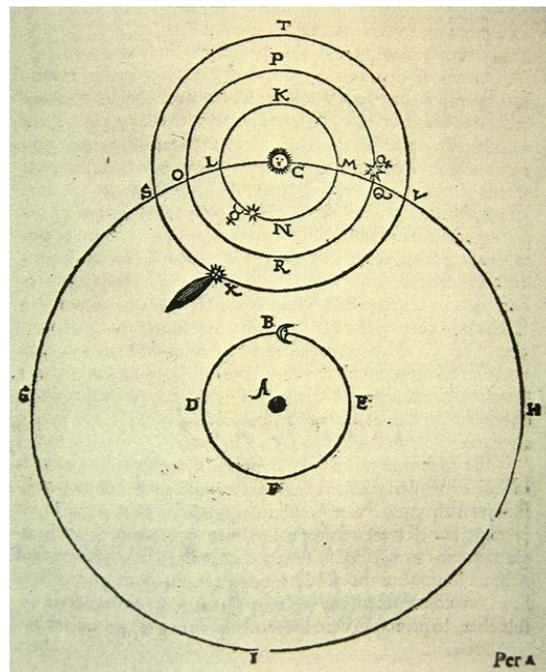
---

<sup>25</sup> Nicolau Copérnico não era alemão e sim polonês.

Para Bruno, um Deus que não pode criar um universo infinito não é Deus, pois não é onipotente. Giordano Bruno foi queimado pela Inquisição, em 1600 por suas convicções religiosas, principalmente. Mas outras pessoas continuaram a defender o trabalho de Copérnico. Galileu Galilei (1564-1642) foi um dos mais famosos defensores de Copérnico, para tornar aceitável que a Terra se move em torno do Sol.

Tycho Brahe (1546 - 1601), que apesar de não aceitar o heliocentrismo acabou contribuindo para o seu estabelecimento. Com o apoio do rei Frederico II, Tycho montou na ilha de Hveen seu observatório de Uraniborg na Dinamarca, onde obteve as medidas astronômicas mais precisas sem o auxílio do telescópio. Seus instrumentos (de grandes proporções) permitiram-lhe determinar detalhes do movimento planetário.

O sistema de mundo proposto por Tycho é híbrido, buscando combinar as vantagens dos sistemas geocêntrico e heliocêntrico. O resultado é um modelo em que o Sol e a Lua movem-se em torno da Terra, que também é o centro da esfera das estrelas fixas. Porém os demais planetas conhecidos (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) orbitam em torno do Sol.



**Figura 11:** O modelo de Tycho Brahe

Os dados obtidos a partir das observações de Marte foram especialmente importantes, pois possibilitaram a Kepler descrever o movimento dos planetas e, indo

muito mais longe que Copérnico, finalmente, encontrou as três leis do movimento planetário e rompeu com a hegemonia do círculo na descrição dos movimentos. O filósofo/escritor Paul Chatel, num romance sobre a vida de Tycho Brahe, destaca a profissão de fé geocêntrica do astrônomo num suposto diálogo entre ele e Kepler.

- Duvidei durante muito tempo – respondeu Kepler -, mas esta dificuldade em descrever o movimento aparente dos planetas faz-me crer que Copérnico talvez estivesse certo...

-... faz-me crê! –interrompeu-o Tycho, irritado.- Eu, eu vos digo que vós deixais conduzir ao léu da corrente. Estas suposições não se sustentam, meu caro Kepler! Elas não resistem nem à reflexão nem à experiência! A Terra não é um pião. Se fosse assim, o mar, os oceanos e, o ar se movimentariam incessantemente. Só haveria tempestades, furações, maremotos causados pela rotação da Terra. Ora, eu que vivi durante muitos anos numa ilha, posso vos assegurar , que não reparei que seja assim.

Kepler quis interromper Tycho, que continuou

-Existe outro argumento. Trata-se da ausência de paralaxe anual das estrelas fixas, enquanto que, de acordo com vossa opinião e a de vossos amigos, supõe-se que a Terra segue sua grande trajetória ao redor do Sol.

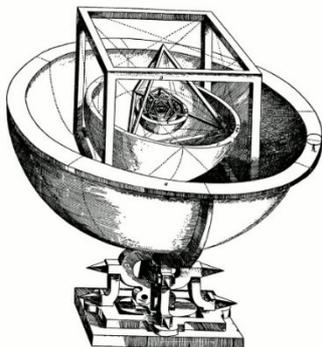
-Compreendo muito bem vossos argumentos – respondeu Kepler- mas eles não provam que a Terra seja fixa. Ora, outras suposições nos levam a pensar que nossa Terra se move mesmo.

-Não me ocupo de suposições –retrucou Tycho- Meu sistema é do resultado de longos anos de observações e representa um meio termo razoável e lógico entre Copérnico e Ptolomeu. A Terra tychoniana é imóvel no centro de um universo que se move. A seu redor, gravitam a Lua, e um pouco mais longe, o Sol. Os cinco planetas giram em torno do Sol de maneira que os raios de Marte, de Júpiter e de Saturno são sempre maiores do que aqueles da trajetória do Sol. Assim, estes planetas nunca se encontram entre o Sol e a Terra. Admito que a descrição dos movimentos dos planetas constitui um problema que falta esclarecer e no qual devemos trabalhar! Mas afirmo que o Sol gira ao redor da Terra e não o contrário. Eu vos poupei do relatório sobre as experiências realizadas em Uranienburgo: a dos tijolos que caem sempre no mesmo lugar e a do canhão apontado para o norte, para o sul, para leste ou para oeste, cuja bala cai sempre a uma distancia igual. A Terra não gira, Kepler!( Chatel 1990 *apud* Zanetic, 2007, pág. 69)

Kepler herdou os resultados de Tycho e formulou suas três leis planetárias, que constituíram a base de uma nova ciência, a astronomia física, básica para o nascimento da mecânica. Até então os modelos cosmológicos possuíam um caráter meramente descritivo, sem que houvesse um questionamento sobre as causas físicas dos eventos.

Como um pitagórico, Kepler acreditava em um universo organizado e regido por uma harmonia matemática. Em seu livro *Mysterium Cosmographicum* (1596) ele apresenta um modelo que pretendia explicar as distâncias planetárias a partir dos sólidos regulares perfeitos: Já por essa época uma questão fundamental inquietava o jovem

Kepler: por que há exatamente seis planetas e não outro número qualquer? Os seis planetas então conhecidos eram a Terra, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Essa foi a linha de investigação, que guiou os passos de Kepler em seu programa de pesquisa: Será que haveria uma relação entre os 5 poliedros perfeitos e as seis esferas que carregam os planetas? Daí vem a construção do modelo representado abaixo.



**Figura 12:** Diagrama do Modelo Cosmográfico de Kepler: a esfera mais externa é a de Saturno.<sup>26</sup>

Segundo Zanetic (2007), Francis Bacon (1561 -1626), Lord chanceler da Inglaterra no reinado de Jaime I, foi outro opositor ao sistema copernicano. Muitos outros pensadores tiveram posicionamentos semelhantes aos de Tycho e Bacon. Mas a vitória da revolução copernicana só ocorreu após a articulação do paradigma de Copérnico realizada por Giordano Bruno, Galileu, Kepler, Isaac Newton e muitos outros que contribuíram para construir um novo mundo.

É importante destacar que Kepler procura uma causa física para explicar um determinado fenômeno. Em seu livro *Astronomia Nova* publicado em 1609, a principal relação de causalidade operante é aquela que liga o Sol aos movimentos planetários, ao movimento de Marte em particular. A ideia de que do Sol emana uma força motriz responsável pelos movimentos dos planetas e a derivação das duas primeiras leis planetárias fazem Kepler iniciar uma nova astronomia física, como ele orgulhosamente anuncia no título. Em relação a esse olhar de Kepler, Zanetic (2007, p. 96) afirma:

A forma de proceder de Kepler exemplifica a influência fantástica que determinada visão de mundo exerce sobre a tentativa de explicar determinadas situações observacionais. Realmente não se olha de modo

---

<sup>26</sup> Fonte: Koestler 1989 apud Zanetic, 2007, p.95.

neutro para a natureza. O olhar carregado de teoria tanto pode levar-nos à construção de propostas que, mais tarde, vão se mostrar descabidas como a outras propostas que vão sobreviver e alimentar novos imaginários. Por outro lado, como sugeria Bachelard, o olhar carregado de teoria pode impedir-nos de captar os tênues sinais significantes que a natureza nos emite, ou seja, a teoria pode funcionar como um obstáculo epistemológico.

Kepler estabelece um método de pesquisa, que pode ser identificado no livro já citado *Astronomia Nova*, como um sofisticado processo de busca por causas decorrentes do contato com o empirismo de Tycho Brahe. Portanto, o mérito de Kepler não se restringe à determinação da forma exata dos movimentos planetários, mas compreende uma reformulação completa nos princípios e nos métodos da ciência astronômica. Mas essa matematização ainda está ligada à tese metafísica, como podemos constatar nas palavras do próprio Kepler:

É verdade que uma voz divina, que impõe aos homens o estudo da astronomia, é expressa no próprio mundo não por meio de palavras ou sílabas mas, com efeito, na conformidade entre o intelecto e os sentidos humanos e o encadeamento dos corpos celestes e de suas relações<sup>27</sup>

Em sua interpretação, Kepler relaciona a possibilidade de identificar os movimentos reais dos astros pela semelhança estrutural entre o mundo criado e a capacidade intelectual humana de conhecê-lo.

Uma segunda inquietação de Kepler, presente em seu primeiro livro *Mysterium Cosmographicum* foi a procura de uma relação matemática entre a distância de um planeta ao Sol e a duração de seu período. Quanto mais distantes do Sol mais lentos eram os planetas, observara Kepler. Com esse tipo de observação chegou à concepção de uma alma que emanava do Sol e que conduzia, empurrava os planetas nas suas órbitas. Kepler procurava uma causa física, não se contentava em “salvar as aparências” ao tentar explicar o movimento planetário. Kepler sofreu a influência das idéias do físico inglês William Gilbert (1540 – 1603) que, em 1600, publica *De Magnete*, sua principal obra sobre o magnetismo. Para Gilbert, nosso planeta era um imenso ímã e a queda dos corpos podia ser explicada pela ação de uma força magnética exercida pela Terra sobre os objetos. Além disso, também assinala que a ação entre dois ímãs é recíproca, ou seja, não é apenas o corpo maior que atrai o menor.

---

<sup>27</sup> Fonte: Koyrè, 1969, p.179.

Influenciado por Gilbert, Kepler introduziu uma nova concepção de gravidade, presente em *Astronomia Nova*:

*Logo, é claro que a doutrina tradicional acerca da gravidade está errada (...). A gravidade é a tendência corpórea mútua entre corpos cognatos (isto é, materiais) para a unidade ou contacto de cuja espécie é também a força magnética, de modo que a Terra atrai uma pedra muito mais do que uma pedra atrai a Terra(...)*

*Supondo que a Terra estivesse no centro do mundo, os corpos pesados seriam atraídos, não por estar ela no centro, mas por ser um corpo cognato(material). Segue-se que, independentemente de onde colocarmos a Terra(...) os corpos pesados hão de procurá-la sempre(...)*

*Se duas pedras fossem colocadas em qualquer lugar do espaço, uma perto da outra, e fora do alcance de um terceiro corpo cognato, unir-se-iam, à maneira dos corpos magnéticos, num ponto intermediário, aproximando-se cada uma da outra em proporção à massa da outra.*

*Se a Terra e a Lua não estivessem mantidas nos respectivas órbitas por uma força espiritual ou qualquer outra força equivalente, a Terra subiria em direção à Lua um cinquenta e quatro avos da distância, cabendo à Lua descer os restantes cinquenta e três partes do intervalo, e assim se uniriam. Mas o cálculo pressupõe terem os dois corpos a mesma densidade.*

*Se a força de atração da Lua chega à Terra, segue-se que a força de atração da Terra, com maior razão, vai até à Lua e ainda mais longe(...)*

*Nada mais do que é feito de substância terrestre é inteiramente leve; mas a matéria menos densa, quer por natureza quer pelo calor, é relativamente mais leve(...)*<sup>28</sup>

Gilbert não era copernicano. Ele aceitava a visão de Tycho segundo a qual todos os planetas girariam ao redor do Sol e este orbitaria em torno de nosso planeta, acrescentando uma razão física, a atração magnética, que era responsável pela manutenção de todo o sistema interligado. O emprego de forças físicas na solução de problemas astronômicos era visto com reserva pelos astrônomos do início do século XVII. Em 1616 a explicação do movimento da Lua apresentada por Kepler na *Síntese de astronomia copernicana* seria atacada por seu antigo professor na Universidade de Tübingen, Michael Maestlin, justamente por se basear em causas físicas, no caso, o magnetismo terrestre. Mas influenciado pelo modo de pensar de Tycho Brahe, não utilizou epiciclos nas suas construções geométricas das órbitas dos planetas. Isto porque

---

<sup>28</sup> Koestler, 1989, citado em Zanetic, 2007, p.98-99.

não podia conceber um planeta girando em torno de um ponto geométrico vazio, que não podia responder pela causa física do movimento do planeta.

De posse dos preciosos dados observacionais de Tycho, com determinação Kepler se pôs a ajustar os dados de Tycho a órbitas circulares. Após uma série de tentativas, conseguiu um ajuste quase perfeito com uma diferença máxima de menos de 8 minutos de arco. Como os dados de Tycho tinham uma precisão melhor do que o desvio de 8 minutos Kepler concluiu que a órbita de Marte não poderia ser circular.

Kepler ficou manipulando os dados de Tycho Brahe. Percebe, então que a Terra não se movia ao longo de sua órbita, mas que sua velocidade dependia da distância ao Sol, reforçando sua concepção de que o movimento dos planetas era devido ao Sol. Kepler pensava que quanto maior a distância do planeta ao Sol, menor a quantidade de raios que o atingem e conseqüentemente, menor a força que conduz o planeta em torno do Sol. Os planetas mais próximos possuem os menores períodos de revolução, pois são influenciados por esta ação do Sol e os mais distantes possuem os maiores períodos de revolução, portanto são mais lentos. Essa conclusão é um importante passo rumo à nova concepção científica, uma vez que associa uma explicação física a uma constatação astronômica. Essa ideia impulsionou Kepler a procurar uma relação exata entre os períodos de revolução dos planetas e as suas distancias em relação ao Sol. Como sabemos, Kepler precisaria de cerca de vinte anos de pesquisa sobre o seu próprio modelo para publicar corretamente em 1619 no *Harmonies Mundi*<sup>29</sup>, a relação conhecida como terceira lei de Kepler, mas a sua primeira tentativa é feita no *Mysterium Cosmographycum*. Em suas palavras “*a maior distância do Sol atua duas vezes para aumentar o período e, inversamente, metade do aumento do período é proporcional ao aumento da distância*”.

Se Kepler viu no Sol uma solução para a variação da velocidade dos planetas, restava-lhe ainda encontrar a melhor forma para as órbitas. Sabemos que Kepler era um excelente matemático e habilidoso em números. Em suas tentativas, estabeleceu um método de verificação que consistia em medir a distância dos planetas em relação ao Sol

---

<sup>29</sup>J.L.E Dreyer, A history of astronomy from Thales To Kepler, p.379.

em pontos específicos de sua órbita. O somatório dessas distâncias correspondia ao tempo empregado pelo planeta para percorrer sua órbita.

Tal cálculo era extenso e cansativo. Na procura por um atalho, Kepler lembrou-se de um trabalho de Arquimedes e substituiu o somatório das distâncias pela área correspondente, que era mais simples de ser calculada. Estava lançada a base do que conhecemos hoje como *Segunda Lei de Kepler* ou lei das áreas: o raio vetor descreve áreas iguais em tempos iguais. Com esse estudo, Kepler poderia determinar a variação da velocidade do planeta em diferentes pontos da órbita circular, mas não conseguia determinar o formato da órbita.

Kepler já havia abandonado a ideia de órbita circular. Após muitas tentativas Kepler conseguiu descrever a órbita de Marte por meio de uma elipse matematicamente correta e generalizou sua descoberta ao afirmar, como atualmente conhecemos como a *Primeira Lei de Kepler*, que os planetas descrevem trajetórias elípticas tendo o Sol como um dos focos. As duas primeiras leis foram publicadas no livro *Astronomia Nova*, de 1609. A terceira lei de Kepler que em linguagem atual diz o seguinte: os quadrados dos períodos de revolução de dois planetas quaisquer estão entre si como os cubos de suas distâncias médias ao Sol. Essa terceira lei mostrou-se fundamental para algumas décadas mais tarde, Newton formular o princípio universal da gravitação. Segundo Max Caspar (1993) podemos encontrar em “*Kepler o que seria o prenúncio da concepção de atração gravitacional*”.

Empirismo, relações causais e matemática se combinam na *Astronomia Nova* para formar a base da qual se serviu Newton ao elaborar o seu princípio de atração gravitacional.

O método Kepleriano procurando estabelecer causas físicas e dinâmica para o movimento planetário inaugura uma nova física celeste.

Em relação ao gênio de Kepler, Einstein comenta:

Em nosso tempo, justamente nos momentos de grandes preocupações e de grandes tumultos, os homens e suas políticas não nos fazem muitos felizes. Por isso estamos particularmente comovidos e confortados ao refletirmos sobre um homem tão notável e tão impávido quanto Kepler. No seu tempo a existência de leis gerais para os fenômenos da natureza não gozava de nenhuma certeza(...) ele descobre que é preciso tentar determinar o

movimento da própria terra (...) Kepler encontra um processo admirável para resolver o dilema(...)

(...) Imaginemos uma lanterna M, colocada em algum lugar no plano da órbita, e que lança viva luz e conserva uma posição fixa, conforme já o verificamos. Ela constituirá então, para a determinação da órbita terrestre, uma espécie de ponto fixo de triangulação ao qual os habitantes da Terra poderiam se referir em qualquer época do ano. Precisemos ainda que esta lanterna estaria mais afastada do Sol do que da Terra. Graças a ela pode-se avaliar a órbita terrestre. Ora, cada ano, existe um momento em que a Terra T se situa exatamente sobre a linha que liga o Sol S à lanterna M. Se, neste momento, se observar da Terra T a lanterna M. Se, neste momento, se observar da Terra T a lanterna M, esta direção será também a direção SM (Sol- lanterna). Imaginemos esta última direção traçada no céu. Imaginemos agora uma outra posição da Terra, em outro momento. Já que, da Terra, se pode ver tão bem o Sol S quanto a lanterna M, o ângulo em T do triângulo STM se torna conhecido. Mas conhece-se também pela observação direta do Sol a direção ST em relação às estrelas fixas, ao passo que anteriormente a direção da linha SM em relação às estrelas fixas fora determinada de uma vez por todas. Conhece-se igualmente no triângulo STM o ângulo em S. Portanto, escolhendo-se à vontade uma base SM, pode-se traçar no papel, graças ao conhecimento dos dois ângulos em T e S, o triângulo STM. Será então possível operar assim várias vezes durante o ano e, de cada vez, se desenha no papel uma localização para a Terra T, com a data correspondente e sua posição em relação à base SM, fixa de uma vez por todas. Kepler determina assim, empiricamente, a órbita terrestre. Simplesmente ignora sua dimensão absoluta, mas é tudo!

Porém, objetarão, onde é que Kepler encontrou a lanterna M? Seu gênio, sustentado pela inesgotável e benéfica natureza, o ajudou a encontrar. Podia, por exemplo, utilizar o planeta Marte. Sua revolução anual, quer dizer, o tempo que Marte leva para realizar uma volta ao redor do Sol, era conhecida. Pode acontecer o caso em que o Sol, Terra, Marte se encontram exatamente na mesma linha. Ora, esta posição de Marte se repete a cada vez depois de um, dois, etc. anos marcianos, porque Marte realiza uma trajetória fechada. Nestes momentos conhecidos, SM apresenta sempre a mesma base, ao passo que a Terra se situa sempre em um ponto diferente de sua órbita. Portanto, nestes momentos, as observações sobre o Sol e Marte oferecem um meio para se conhecer a verdadeira órbita da Terra, pois o planeta Marte reproduz nesta situação a função da lanterna imaginada e descrita acima(...)

A razão humana, eu o creio muito profundamente, parece obrigada a elaborar antes e espontaneamente formas cuja existência na natureza se aplicará a demonstrar em seguida. A obra genial de Kepler prova esta intuição de maneira particularmente convincente. Kepler dá testemunho de que o conhecimento não se inspira unicamente na simples experiência, mas fundamentalmente na analogia entre a concepção do homem e a observação que faz (Einstein 1981 *apud* Zanetic 2007).

Antes da Renascença, a mecânica de Aristóteles e o sistema de esferas celestes de Ptolomeu eram a lógica aceita, a incontestada estrutura natural do Universo, e assim, foi até que um monge polonês olhou para o céu e percebeu as coisas de forma diferente. A teoria heliocêntrica de Copérnico, consolidada no “*De Revolutionibus*,” deixou uma mensagem ao mesmo tempo promissora e perturbadora. Para os copernicanos de inspiração neoplatônica a posição do Sol como centro do Universo era extremamente

elegante, correspondendo aos seus pressupostos filosóficos de harmonia matemática, Por outro lado, para os anticopernicanos o heliocentrismo era um absurdo, pois além de carecer de evidências observacionais, a sua aceitação implicava em uma completa destruição da cosmologia então vigente (KOYRÈ 1991).

Contudo, se do ponto de vista físico e cosmológico a teoria copernicana era problemática, sob o aspecto cinemático ela já havia dado provas de sua funcionalidade, o que, aliado à sua consistência matemática, fazia-a exercer um grande fascínio intelectual sobre boa parte dos astrônomos. Depois da morte de Copérnico, as universidades católicas não evitariam o seu uso, a ponto da reforma do calendário ser baseada nele.

Na Universidade de Tubingen, Kepler teve aulas com o professor Martin Crucius, que era muito conservador em tudo aquilo que dizia respeito a Aristóteles. Já Michael Maestlin, foi o professor que realmente o influenciou, pois foi ele quem lhe apresentou o trabalho de Nicolau Copérnico, *As Revoluções dos Orbes Celestes*, Kepler leu o *Almagesto* de Ptolomeu, achou, assim como Maestlin, que ele havia inventado um sistema muito complicado. Aqueles epiciclos eram necessários para explicar o movimento dos planetas, mas por causa deles o sistema tornava-se muito confuso. Kepler achava que se existisse uma harmonia no Universo, a sua estrutura não poderia ser de tão difícil compreensão.

### **3.6 Os Caminhos de Newton para os “Principia” (Princípios)**

Segundo Evangelista (2011, p.381) Isaac Newton nasceu em Woolsthorpe no dia de Natal de 1642, exatamente no mesmo ano em que morreu Galileu Galilei. Filho de um agricultor próspero de Lincolnshire que morrera três meses antes do nascimento do seu único filho. Órfão de pai e já herdeiro dos seus bens, educado pela avó materna na mansão que lhe deixara o pai, separa-se da mãe que, após três anos de viuvez, casara de novo e vai viver com o seu novo marido, um padre da igreja anglicana, *Bachelor of Arts* por Oxford, que lhe deu mais três filhos. Esta separação dura 11 anos, pois Hannah Ayscough regressa após nova viuvez e, junto do filho, influencia decisivamente a sua educação. O pai do jovem Isaac Newton era um agricultor bem estabelecido, analfabeto, que, por casamento se ligou a uma família da baixa nobreza, os Ayscough, foi um irmão da mãe, o reverendo William Ayscough, aluno de Cambridge, que teve, junto da irmã,

um papel importante no aconselhamento sobre a orientação dos estudos do seu sobrinho.

A frequência do ensino superior iniciou-se no ano de 1661 quando Newton entrou para o *Trinity College* de Cambridge, na qualidade de *sub-sizar*. Em 1665 obtinha o diploma de *Bachelor of Arts*. Na Biblioteca de Cambridge estão os seus diversos *Cadernos de Notas* do seu tempo de estudante. Newton leu os trabalhos de Kepler e de Euclides, leu os *Diálogos* de Galileu e a *Geometria* e os *Princípios* de Descartes, estudou a *Arithmetica Infinitorum* de John Wallis, anotou os trabalhos de Boyle e Hooke. Em 1665, acompanhado de livros importantes, abandona Cambridge e vai para a sua terra natal, fugindo da peste que assolava a Inglaterra e obriga a fechar muitas instituições públicas. Grande parte dos manuscritos produzidos nesses dois anos estão depositados na Biblioteca da Universidade de Cambridge. Em relação à controvérsia em torno da prioridade na criação do cálculo diferencial e integral, o próprio Newton recorda:

No princípio do ano de 1665 encontrei o método das séries aproximativas e a Regra para reduzir qualquer binômio de qualquer ordem a uma série desse tipo. Em Maio do mesmo ano determinei o método das tangentes (...) em Novembro estava na posse do método direto das fluxões e em Janeiro do ano seguinte já das suas distâncias a partir do centro das órbitas, deduzi que as forças que mantêm os Planetas nas suas órbitas devem estar como o inverso dos quadrados da sua distância ao centro em torno dos quais efetuam a sua revolução; e comparei a força necessária para manter a Lua na sua órbita com a força da gravidade à superfície da Terra e encontrei que se equivaliam de muito perto. Tudo isto aconteceu nos anos da peste de 1665-1666. Pois nessa época, eu estava na flor da idade da descoberta e pensava sobre Matemática e Filosofia mais do que em qualquer outra época a partir daí» (Westfall, 1996,p.143)

Segundo Richard Westfall, parece ter sido desta passagem, bem como da história da maçã, que nasceu o célebre mito dos *Anni Mirabilis*<sup>30</sup> de Newton associado à sua estada em Woolsthorpe.

Embora os primeiros trabalhos de Newton sejam dedicados à Óptica, o livro *Opticks* é o último a ser publicado em 1704. A troca de correspondência com Leibniz se dá em 1676, em torno das matérias relacionadas com o cálculo diferencial e integral, reunidas na obra já escrita, *De Methodis Serierum et Fluxionum*, e que só será publicada

---

<sup>30</sup> Para detalhes, ver a obra Newton - Textos, Antecedentes, Comentários, org. I. Bernhard Cohen e Richard S. Westfall. Editora Contraponto, Rio de Janeiro, 2002.

postumamente. Por último há a escrita dos *Principia* que será pela primeira vez publicada em 1687. Entre meados da década de setenta e meados da década seguinte há os anos de “silêncio científico”, os anos em que mergulhou também na alquimia, na teologia.

Newton parece ter iniciado a escrever o *Principia* em 1684, quando Halley foi visitá-lo em Agosto desse mesmo ano. O relato deste encontro é feito por De Moivre com base no que lhe contara o próprio Newton:

Em 1684 o Dr Halley foi visitá-lo em Cambridge, depois de algum tempo de convívio, o Dr. perguntou-lhe o que pensava que seria a Curva a ser descrita pelos Planetas supondo a força de atração em direção ao Sol variando inversamente com o quadrado da sua distância a ele. Sir Isaac respondeu de imediato que seria uma Elipse, o Doutor cheio de alegria & estupefação perguntou-lhe como é que ele sabia, porque, disse ele, já a tinha calculado, Sir Isaac procurou no meio dos seus papéis mas não encontrou o cálculo, contudo prometeu fazê-lo de novo & então enviar-lho-ia (Westfall, 1996,p. 403)

Newton, meses mais tarde entrega a Edmund Halley um pequeno tratado, *De motu*, do qual existem várias cópias e versões – tendo-se perdido o original, depositado na Biblioteca de Cambridge. Este texto constitui o primeiro esboço do *Principia*. Em junho de 1686, o primeiro manuscrito do *Principia* foi para a tipografia. A impressão do segundo e terceiro livros iniciam-se no mês seguinte. Em 7 de julho de 1687, Halley escreve a Newton informando-lhe que os *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* estão prontos.

Segundo o físico soviético Boris Hessen (1883-1936), o *Principia* de Newton é fruto da necessidade de resolver alguns problemas práticos que surgiu quando a revolução burguesa inglesa deu um forte impulso ao desenvolvimento das forças produtivas. Como afirma Hessen *apud* Zanetic ( 2007, p.253):

(...) Esse breve perfil dos *Principia* mostra a completa coincidência entre as temáticas físicas da época, que emergiam de exigências econômicas e técnicas(...) E uma vez que todos esses problemas eram problemas de mecânica, fica claro porque a principal obra de Newton foi uma investigação geral sobre a mecânica celeste e terrestre.

Portanto segundo Hessen<sup>31</sup> algumas razões sociais também foram responsáveis pelo programa de pesquisa de Newton.

Ainda segundo Hessen, uma carta que Newton escreveu em 1669 a Francis Aston, mostra seu interesse em assuntos técnicos e práticos. Aston faria uma viagem e solicitou a Newton instruções sobre como aproveitar e eleger sobre que coisas deveria dar atenção durante a viagem. Abaixo transcrevemos um pequeno fragmento das instruções de Newton elencadas por Hessen:

(...) estudar cuidadosamente o mecanismo de direção e os métodos de navegação dos navios; examinar atentamente todas as fortalezas a que porventura tivesse acesso, sua forma de construção, sua solidez, seus sistemas de defesa, informar-se sobre sua organização militar em geral; estudar as riquezas naturais dos vários países, sobre os metais e minerais, informando-se também sobre seus métodos de extração e purificação dos minerais(...) Na Holanda, há pouco tempo havia sido instalada uma fábrica de polimento de vidro, deveria ir visitá-la. Deveria procurar aprender de que maneira os holandeses protegiam suas naveas da corrosão durante as longas viagens para a Índia. Deveria descobrir se o relógio do pêndulo tinha alguma utilidade para medir longitudes em alto mar (...).

Na análise entre o conteúdo do “Principia” e os temas da pesquisa de Newton da época, Hessen tece alguns comentários acerca dos fundamentos metodológicos e teóricos da mecânica que são apresentados nas definições, axiomas ou leis do movimento. No I livro Newton descreve detalhadamente as leis gerais do movimento de corpos sujeitos à ação de forças centrais.

A partir do II livro Newton dedica ao movimento dos corpos, mas agora analisa esse movimento nos meios resistentes e sua dependência com a velocidade. Ainda no segundo livro Newton aborda os fundamentos da hidrostática e dos problemas dos corpos flutuantes. Essa última temática é assunto de interesse na solução de problemas técnicos decorrentes da construção de navios e canais.

No Principia, logo a partir do primeiro teorema enunciado, do livro III “Do Sistema do Mundo” enunciado, começa a perceber-se que a explicação dos movimentos planetários, descritos pelas três leis planetárias de Kepler, é o grande objetivo da obra. Outros pensadores da época como Borelli, Halley, Leibniz e Descartes se preocupavam

---

<sup>31</sup> Uma parte desta seção 3.6 baseia-se em dois autores: As *Notas de Aula* da disciplina FMT405, Evolução dos Conceitos da Física, ministrada pelo professor João Zanetic no Instituto de Física da USP, entre 1978 e 2012; Fitas, Augusto J. Santos, 1996, *Os Principia de Newton, alguns comentários (Segunda Parte, A Gravitação, Vértice, 73, p.97-102.*

também com a resolução deste problema. Aqui, é importante destacar que na década de 1660, as leis de Kepler não eram completamente aceitas pela comunidade científica. Newton é introduzido à astronomia Kepleriana através da obra *Astronomia Carolina*, de Thomas Street, e assim, iniciam-se as suas primeiras investigações relativas ao movimento celeste.

Em 1600, Gilbert, na obra “*De Magnete*”, primeira exposição sistemática do magnetismo terrestre, perante a natureza da força magnética que se manifestava na sua capacidade de atuar a distância originando o movimento extrapola:

Este movimento, que é a inclinação em direção à fonte, não pertence só às partes da Terra, mas também às partes do Sol, da Lua e aos outros corpos celestes (Gilbert apud Fitas, 2002)

Newton associará os dois fenômenos, como sendo da mesma natureza, confundindo-os nos seus efeitos, escrevendo na nota à Definição V:

Desta espécie é a gravidade, pela qual os corpos tendem para o centro da terra; é o magnetismo, através do qual o ferro tende para a magnetite; e é a força, qualquer que seja, através da qual os planetas são continuamente afastados dos movimentos retilíneos, em que, caso contrário, persistiriam, e que os forcem a girar em órbitas curvilíneas (...) (PRINCIPIA, p.2)<sup>32</sup>

Esta parecia ser a única forma de ocorrer a ação à distância, já que na época de Newton não se compreendia o movimento orbital como uma composição de um movimento acelerado por um corpo central e um movimento tangencial à órbita. A ideia de uma força centrípeta a desviar continuamente o planeta de um movimento retilíneo não passava pela mente do jovem Newton. Para Kepler o movimento dos planetas em torno do Sol obrigava a que este fosse o centro de forças magnéticas. Essa ideia animou Kepler, que elegeu a força magnética oriunda do Sol, a responsável pelo movimento de todos os planetas. Neste caso, o Sol tinha um movimento de rotação, ou seja, um movimento que transmitia aos planetas por intermédio de certa força ou potência motriz solar: “*movimento que transmitia aos planetas por intermédio de uma **species imaterial, análoga, por sua vez, à luz e à força magnética***”. (KOYRÈ 1968 apud FITAS 1996).

---

<sup>32</sup> Fonte: Fitas, Augusto J. Santos, 1996, *Os Princípios de Newton, alguns comentários (Primeira parte, a Axiomática)*, Vértice, 72, 61-68.

Esta força atravessa o espaço e, à medida que se afasta do Sol, o seu efeito vai enfraquecendo o que explicava o movimento mais lento dos planetas mais afastados do Sol. Há certa analogia entre esta fonte de movimento e a propagação dos raios luminosos (Dugas, 1988, p.215), pois, lembre-se Kepler, a intensidade da luz emitida por uma fonte varia na razão inversa do quadrado da distância a esta. A partir desta semelhança, Kepler deduz que a ação proveniente do Sol, *virtus movens*, deve respeitar a lei do inverso do quadrado da distância.

De qualquer modo, embora muito perto da solução que Newton virá a encontrar, seria impossível a Kepler vislumbrá-la, visto que a sua força magnética não é de forma alguma uma alternativa para a gravitação: “(...) *ela não é responsável pela manutenção dos planetas nas suas órbitas (...) para Kepler, tal como para Aristóteles, o movimento circular é um movimento simples e natural (...)*”. (KOYRÉ, 1968, apud Fitas, 2011, p.14).

Descartes substituiu o *virtus movens* de Kepler pelo seu éter pleno de vórtices. O filósofo francês não aceitava a interação à distância no vazio, substituindo todo o espaço por qualquer coisa como um líquido cheio de turbilhões que seriam os responsáveis pelo transporte dos planetas no seu movimento em torno do Sol. (FITAS, 2011). Embora possuidor de ferramentas analíticas para tratar os problemas geométricos, Descartes não fez qualquer tentativa para explicar as célebres Leis de Kepler, no sentido de adaptá-las ao seu sistema.

Hooke, num artigo publicado em 1674 e intitulado *An Attempt to prove the annual Motion of the Earth*, aderiu, sem qualquer prova, à hipótese de ação à distância entre os planetas: “Todos os corpos celestes, sem exceção, exercem uma força de atração ou peso que é dirigido em direção ao seu centro, em virtude do qual não só mantêm as suas próprias partes, impedindo que eles se soltem, tal como podemos ver para o caso da terra, mas também atraem todos os corpos celestes, o que acontece dentro da sua esfera de atividade. Por exemplo, não só o Sol e a Lua que atuam sobre o movimento da Terra, na mesma forma em que esta atua sobre eles, mas também Mercúrio, Venus, Marte Júpiter e Saturno têm, devido à sua força de atração, uma influência considerável no movimento destes corpos. (Dugas, 1988, p.216).

Hooke acabou por defender, influenciado pela analogia óptica, que o valor da atração variava na razão inversa do quadrado da distância. Halley, o grande responsável pela publicação dos *Principia*, aplicou alguns teoremas enunciados por Huygens sobre a força centrífuga, publicados sem demonstração no final da obra *Horologium*

*Oscillatorum*, à hipótese de Hooke e assumindo a terceira lei de Kepler, concluiu sobre a lei do inverso do quadrado da distância.

Trabalhando de forma independente de Huygens, Newton obtém por volta de 1665 uma expressão para esta tendência centrífuga. Uma medida dessa força seria fornecida pela fórmula  $f \propto \frac{v^2}{r}$ , onde o segundo termo  $\frac{v^2}{r}$  refere-se à aceleração centrífuga. Alguns historiadores da ciência afirmam que Newton utilizou a expressão obtida por Huygens. Logo, Newton, estará usando esta expressão em suas primeiras incursões na análise do movimento orbital da Lua em torno da Terra (COHEN, 1983).

O interesse de Newton pela Astronomia e pela dinâmica do movimento celeste ganharia um novo estímulo intelectual e começaria a tomar um novo rumo, a partir da correspondência com Robert Hooke entre novembro de 1679 e dezembro de 1680. Neste período Newton trocava cartas com Hooke, onde este expunha algumas de suas ideias sobre o movimento planetário e a lei de força que poderia estar associada a este movimento. É a partir deste período que se deflagra no espírito de Newton um radical processo de revisão de suas concepções (Cohen, 1983; Westfall, 1995).

Logo após ser nomeado secretário da Royal Society, Hooke envia uma carta a Newton na qual, após convidá-lo a retomar o intercâmbio científico com a Sociedade, lhe pede comentários acerca de uma hipótese e uma opinião sua “*consistente em compor os movimentos celestes dos planetas [à base] de um movimento direto pela tangente & um movimento atrativo para um corpo central*” (Hooke, *apud*, Cohen, 1983, p. 265)

Traduzindo para uma linguagem atual, o que Hooke propunha era a interpretação do movimento orbital como resultante da composição de dois movimentos: um inercial ao longo da tangente à curva e o outro sob a ação de uma força voltada para o centro, segundo a lei  $1/R^2$ , uma ideia inovadora para a época, contrariando a concepção vigente.

Segundo Westfall (1971) *apud* Teixeira (2010), em sua primeira resposta, Newton não se referiu diretamente à hipótese levantada por Hooke, mas propôs uma demonstração de que a Terra gira em torno de seu próprio eixo. Ele supôs que a trajetória da queda de um corpo solto de uma torre é ligeiramente deslocada para leste e

teria um movimento em espiral da superfície para o centro da Terra (figura 13a). Newton escreveu ainda que desconhecia a “hipótese” de Hooke sobre a composição dos movimentos orbitais (Cohen, 1983, p.265; Westfall, 1995, p.149).

Hooke, sustentando sua hipótese de que o movimento era composto de uma força em direção ao centro e uma componente tangencial à superfície, respondeu a Newton que tal movimento seria semelhante a uma elipse (figura 13b), e não do tipo espiral como afirmava Newton. Conforme Teixeira (2010) a discussão de cartas se volta para o movimento orbital e Hooke sustentava sua ideia de que a órbita era elíptica, fechada e mantida pela combinação de uma força central com a componente tangencial, continuamente desviada pela primeira, considerando a gravidade variável com o inverso do quadrado da distância. No entanto, Newton ainda era adepto da ideia de equilíbrio entre força centrífuga e gravidade, que considerava constante, e propôs outro modelo que levaria o corpo de A, passando por F, G, H, I, K e retornando até A (figura 13c), num movimento alternado de ascensão e descenso em que força centrífuga e gravidade se contrabalanceavam. O modelo era uma correção de Newton ao seu modelo anterior e foi elaborado sob influência da teoria planetária de Borelli<sup>33</sup>.

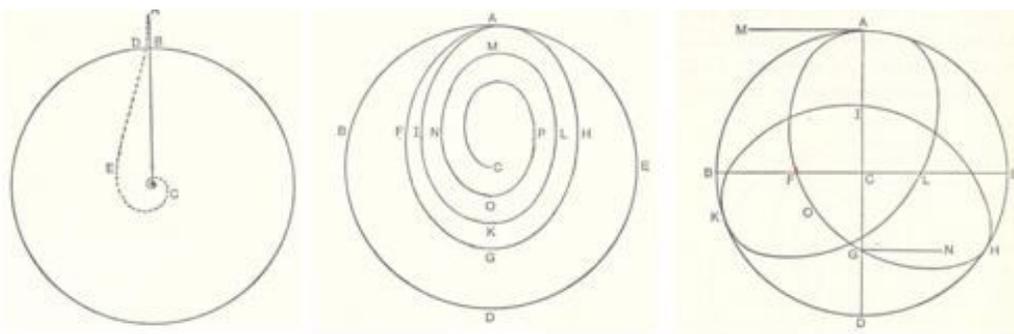


Figura 13<sup>34</sup>

A discussão entre Newton e Hooke, na realidade é sobre a dinâmica planetária. E, nesse ponto, o modelo de Hooke era bem melhor que o de Newton, pois continha a ideia de força central que somente posteriormente foi assimilada por Newton e que o

<sup>33</sup> Newton estudou o livro “Especulações sobre os Satélites Mediceanos Deduzidos de Causas Físicas”, de Giovanni-Alfonso Borelli, que propôs uma explicação qualitativa sobre o movimento orbital das luas em torno de Júpiter em termos de uma composição da gravidade e da força centrífuga (Teixeira 2010 apud Whiteside 1970; Dias 2006)

<sup>34</sup> Fonte: Figuras extraída de Westfall (1971).

permitiu, juntamente com o tratamento matemático adequado, dar um passo decisivo para a Gravitação Universal.

Em grande parte, Newton deve isso a Hooke (Cohen, 1983; Westfall, 1971). Historiadores como Cohen e Westfall concordam quanto ao fato de que essa dívida reside muito mais na ideia de força central e da componente inercial (tangente à órbita) do que na lei de força  $1/R^2$  que Hooke tanto reivindicou. Isso porque, embora este tivesse apresentado a lei pela primeira vez a Newton, não tinha conhecimentos matemáticos suficientes para saber deduzir suas consequências. Por outro lado, a nova hipótese formulada por Hooke, até então por ninguém conjecturada, foi a grande contribuição que este legou para a mudança de concepção de Newton (COHEN 1988; WESTFALL, 1971; PEDUZZI, 2008). Entretanto, a sutil diferença entre as interpretações de Cohen e Westfall, nesse caso, reside na valoração dessa dívida. Enquanto o primeiro enfatiza a importância do trabalho matemático de Newton, o outro valoriza mais o papel da hipótese de Hooke na mudança conceitual de Newton, pois “*estabeleceu os elementos mecânicos do movimento orbital em termos adequados ao conceito de inércia*” permitindo colocar “de pé” uma dinâmica orbital apropriada e acentua ainda que “*nesta matéria Hooke foi o mentor de Newton*” (WESTFALL, 1971, p. 427).

Em 6 de janeiro de 1680, Hooke escreveu a Newton acerca de uma hipótese sua, relativa à força de atração que mantém os planetas em órbita.

[...] a atração se acha sempre em uma proporção duplicada com a distância do centro reciprocamente e, por conseguinte a velocidade se achará em uma proporção sub-duplicada com a atração e, portanto, como supõe Kepler, reciprocamente com a distância (Hooke, apud, Cohen, 1983, p. 265).

Newton se abstém de comentar esta hipótese de Hooke, mas explora as suas consequências, demonstrando para si mesmo que a velocidade de um corpo, que se movimenta em órbita elíptica sob a ação de uma força inversamente proporcional ao quadrado da distância, não era inversamente proporcional à do corpo ao centro de força, como supunha Kepler, e sim inversamente proporcional à distância perpendicular do centro de força à reta tangente à órbita. Esta demonstração está presente, nas três primeiras edições do Principia, mais precisamente na Proposição XVI do livro I (Cohen, 1983, p.267; Newton, 2002, p. 108).

Hooke, em 15 de janeiro de 1680, reiterava a sua suposição concernente à existência de uma força atrativa, e argumentava que Newton conseguiria obter a forma da curva e sugerir uma razão física para a sua proporção:

Resta agora averiguar as propriedades de uma linha curva (nem circular nem concêntrica) realizada por uma potência atraente central que faça que as velocidades de descida desde a linha tangente ou igual movimento retilíneo, a todas as distâncias, estejam em uma proporção duplicada das distâncias recíprocas tomadas [i.e., inversamente como o quadrado das distâncias]. Não me cabe a menor dúvida de que com vosso excelente método podeis achar facilmente qual há de ser tal curva, assim como suas propriedades, sugerindo ademais uma razão física desta proporção (Hooke apud COHEN, 1983, p. 266).

Newton se esquiva de debater esses problemas com Hooke, mas explora matematicamente as suas hipóteses. Após sucessivas evasivas a correspondência com Hooke se encerra em fins de 1680. Após a análise de Hooke do movimento curvilíneo, Newton consegue avançar rapidamente em seus estudos sobre o movimento celeste. Como já citamos anteriormente, mesmo trabalhando com a equivocada “força centrífuga”, já havia obtido resultados que, agora, reexaminados à luz da ideia de uma atração para um corpo central e da decomposição do movimento curvilíneo, ganhariam uma interpretação que se constituiria em um primeiro passo em direção a um conceito de gravitação universal. Embora Newton fosse um notável matemático, ele ainda precisaria resolver intrincados problemas matemáticos inerentes à articulação da sugestão de Hooke às leis de Kepler. Cohen (1983, p. 270) assinala que em vários documentos não publicados Newton admitia que a correspondência com Hooke lhe proporcionou uma boa oportunidade para o estudo da dinâmica do movimento planetário, embora não admitisse que Hooke tivesse fornecido qualquer contribuição significativa ao seu pensamento.

Da correspondência com Hooke emergem três contribuições importantes e fundamentais para a formulação da lei da gravitação universal: a transformação da força centrífuga em força centrípeta, a descoberta do caráter dinâmico da lei das áreas e a ideia de uma força atrativa. Esses três avanços têm como ponto de partida a sugestão de Hooke de imaginar o movimento planetário como resultante de um movimento tangencial de caráter inercial e um movimento acelerado voltado para o centro, ou seja, sob a ação de uma força central (COHEN, 1983, p.272-275).

Assim, a partir da sugestão de Hooke, Newton retoma os seus estudos sobre a dinâmica do movimento planetário. Nesta nova incursão abandona o enfoque de associar um corpo em movimento curvilíneo a ideia cartesiana de “tendência a afastar-se do centro”, ou força centrífuga, como a designara Huygens. Dessa forma, a expressão da antiga força centrífuga –  $f \propto v^2/r$  – é articulada por Newton a um novo conceito – a força centrípeta.

Segundo Cohen (1983), a maioria dos estudiosos admite que a sequência de descobertas de Newton em relação à aplicação do método de Hooke ao estudo das leis de Kepler segue mais ou menos a sequência apresentada por ele no *Principia* e em um pequeno tratado escrito um pouco antes – o *De Motu*, que será comentado na próxima seção.

### 3.7 A Gravitação Universal

Isaac Newton, no prefácio da primeira edição dos *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, escreve:

(...) ofereço esta obra como os princípios matemáticos da filosofia, pois todo o tema da filosofia parece consistir no seguinte -- dos fenômenos do movimento investigar as forças da natureza e, então, destas forças demonstrar os outros fenômenos; e com este propósito são apresentadas as proposições gerais do primeiro e segundo livros. No terceiro livro dou um exemplo disto na explicação do Sistema do Mundo; pois, pelas proposições matematicamente demonstradas no primeiro livro, no terceiro eu derivo dos fenômenos celestes a força da gravidade através da qual os corpos são atraídos para o Sol e para diversos planetas. Então destas forças, usando outras proposições matemáticas, deduzo o movimento dos planetas, dos cometas, da lua e do mar (...).

Newton expõe acima de forma clara e sintética todo o seu programa de investigação no que diz respeito à filosofia natural. Segundo Fitas (1996, p1) são três as características essenciais deste programa. Em primeiro lugar, o seu objetivo principal está na explicação do movimento dos astros. Newton deriva as leis de Kepler, desenvolvendo uma explicação quantitativa da causa desse movimento. Em segundo lugar, o rigor de toda a sua formulação matemática para descrever os fenômenos físicos da natureza. Por último, a construção de leis naturais que unificam o mundo terrestre com o mundo dos astros, leis que explicam o movimento do cometa e da bala, a queda da maçã e a trajetória da Lua em torno da Terra.

Assim, ao que parece, a atribuição de um caráter dinâmico à lei das áreas, foi o primeiro sucesso à luz do novo enfoque sugerido por Hooke. Com essa demonstração simples, ele estabeleceu pela primeira vez a íntima conexão entre a lei da inércia e a lei das áreas. A seção II do Livro I do *Principia* se inicia com a Proposição I, que também está presente em “De Motu”, estabelece que um corpo inicialmente inercial, ao sofrer uma força central, se move de forma a obedecer obrigatoriamente à segunda lei de Kepler (lei das áreas) e que sua órbita é plana.

Nesta proposição I, do livro I dos *Principia*, Newton escreve:

As áreas que os corpos que giram descrevem por meio de raios traçados até um centro de força imóvel situam-se nos mesmos planos imóveis, e são proporcionais aos tempos nos quais são descritas. (Newton, 2002)

Nota-se que no enunciado deste teorema nada é dito sobre o tipo de curva. A dificuldade desta demonstração reside principalmente no tratamento da “ação contínua” da força centrípeta, pois a ação da força aplicada foi conceitualizada na segunda Lei sobre o modelo do “impulso” do choque. A demonstração é feita recorrendo à figura 14: aproxima a trajetória curvilínea descrita por pequenos segmentos de reta, AB, BC, CD, DE, EF,...; a força central, sempre dirigida para o ponto S, atua nos pontos (instantes) A, B, C, D, E, F,..., desviando o corpo da sua trajetória retilínea. (FITAS, 1996, p.29).

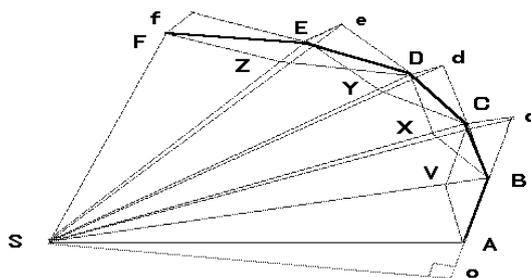


Figura 14

Considere que o tempo seja dividido em partes iguais. Na primeira parte desse tempo o corpo descreve a reta AB. Na segunda parte desse tempo (Primeira Lei), se não fosse impedido, ele prosseguiria diretamente para c pela linha Bc, igual a AB. (COHEN, 1996). Os triângulos ABS e BcS, porque têm bases iguais ( $AB=Bc$ ) e altura comum, So, as suas áreas são iguais. Se em B intervier uma força centrípeta, um novo impulso, o corpo é desviado de Bc e passa a deslocar-se segundo a direção BC. Aplique-se a regra

do paralelogramo (Corolário I): pelo ponto  $c$  traça-se uma paralela à direção  $SB$  que vai encontrar a reta  $BC$  no ponto  $C$  pertencente ao plano do triângulo  $ASB$ . Os triângulos  $BcS$  e  $BCS$  possuem a mesma base,  $BS$ , como a distância dos pontos  $C$  e  $c$  a este segmento é a mesma ( $Cc$  é paralela a  $BS$ ), então a área dos triângulos é igual. As áreas de  $ABS$  e  $BCS$  são iguais. Repetindo os argumentos utilizados conclui-se pela igualdade das áreas  $BCS$  e  $CDS$ ,  $CDS$  e  $DES$ ,... e, por composição, as diversas somas destas áreas elementares estão entre si como os intervalos de tempo gastos em percorrê-las. Para terminar esta demonstração leia-se o que escreveu Newton,

(...) aumente-se o número de triângulos, e a sua base diminuiu in infinitum; e o seu perímetro final  $ADF$  será uma linha curva: e portanto a força centrípeta, pela qual o corpo é continuamente afastado da tangente a esta curva atuará continuamente, e quaisquer áreas descritas  $SADS$ ,  $SAFS$  que são sempre proporcionais aos tempos de descrição, serão, também neste caso, proporcionais a esses tempos. Q.E.D (Newton, 2002).

Segundo Fitas (1996, p. 31) toda esta argumentação exclusivamente geométrica, da qual é afastado qualquer tratamento analítico, é a utilizada por Newton ao longo desta sua obra, não existindo qualquer recurso à linguagem de cálculo diferencial, por ele descoberto, e de que, tão insistentemente, se afirmou o pioneiro. Newton, no período de 1664-65, ainda estudante do Trinity College em Cambridge, desenvolveu um método de análise, o Método das Fluxões, onde introduzira a noção de derivada, de diferencial e de infinitésimo, passando qualquer linha curva a não ser entendida como uma soma de vários segmentos, mas como uma linha contínua.

Ainda segundo Fitas, Newton, no período de 1664-65, ainda estudantes do Trinity College em Cambridge, desenvolveu um método de análise, o Método das Fluxões, onde introduzira a noção de derivada, de diferencial e infinitésimo, passando qualquer linha curva a não ser entendida como uma soma de vários segmentos, mas como uma linha contínua. Em 1669, os resultados com respeito à pesquisa sobre séries são compilados na obra *Sobre a Análise de Equações não limitadas no número dos seus Termos*. Um Ano depois tenta publicar estes seus trabalhos de matemática num único livro, *Método de Fluxões e Séries infinitas*.

A proposição II, que não aparece em *De Motu*, mostra o inverso da primeira. Um corpo que se move numa curva obedecendo à lei das áreas está sujeito a uma força central, cujo centro pode ser fixo ou móvel com velocidade constante. Na Proposição I, uma força central implica um movimento curvo, que obedece à lei das áreas e, na

Proposição II, a trajetória curva que obedece à lei das áreas implica uma força central. Dessa forma, com as proposições I e II, Newton estabelece a lei das áreas como condição necessária e suficiente para a existência de uma força centrípeta. (Cohen, 1983, p.274).

Na Proposição II, Newton afirma que:

Qualquer corpo que se movimenta numa linha curva descrita num plano e através do raio desenhado a partir de um ponto imóvel, ou que se movimenta segundo um movimento retilíneo e uniforme, descreve em torno desse ponto áreas proporcionais ao tempo, são solicitados por uma força centrípeta dirigida para esse ponto (Newton, 2002).

Está assim encontrada (provada) a Segunda Lei de Kepler e que as órbitas são planas. A Proposição III, que também só aparece no Principia, é uma generalização da anterior para um centro de força que pode se mover acelerado. Em seguida, Newton passou à Proposição IV, também presente em *De Motu*. Nessa Proposição IV (Teorema IV) e os nove corolários que lhe estão associados, contemplam os resultados obtidos do movimento circular descrito por ação da força centrípeta. Nas palavras do próprio Newton:

O caso do sexto corolário obtido para os corpos celestes (tal como Sir Christopher Wren, Dr.Hooke e Dr.Halley observaram cuidadosamente), e, portanto no que se segue tenciono tratar de uma forma mais ampla as questões que estão relacionadas com o decréscimo da força centrípeta com o quadrado da distância ao centro.<sup>35</sup>

E citando Huygens Newton afirma que no seu “*excelente livro De horologio oscillatorio, comparou a força da gravidade com a força centrífuga de revolução dos corpos*”.<sup>36</sup>

Dessa forma, pela primeira vez aparece a menção explícita à força variando na razão inversa do quadrado da distância e Newton parte para a determinação da lei a que obedece a força centrípeta partindo do conhecimento da órbita. Trata-se de uma proposição de grande importância, pois estabelece, pela primeira vez, uma medição da

---

<sup>35</sup>Newton, I, Principia p.46.

<sup>36</sup> Ibid, p.46

força centrípeta para o movimento circular uniforme. Abaixo, segue uma discussão desta Proposição e alguns dos seus corolários.

É importante destacar que é na “Proposição IV”, do Livro III, do Principia que, pela primeira vez, se expressa o que hoje denominamos de síntese newtoniana, isto é, a ideia de que a física dos corpos celestes em suas órbitas é a mesma do movimento dos corpos na superfície da Terra. Para verificar sua proposição, Newton faz uma “experiência de pensamento”, a da “queda da Lua”. A seguir reproduzimos algumas de suas proposições:

#### PROPOSIÇÃO IV. TEOREMA IV

As forças centrípetas dos corpos, que por movimentos uniformes descrevem círculos diferentes, tendem aos centros dos mesmos círculos; e estão umas para as outras da mesma forma que os quadrados dos arcos descritos em tempos iguais aplicados aos raios dos círculos”.

Estas forças tendem aos centros dos círculos ( pela Proposição 2 e Corolário 2 da Proposição 1) e estão umas para as outras da mesma forma que os versos-senos dos arcos menores descritos em tempo s iguais( pelo Corolário 4, Proposição I), ou sejam da mesma forma que os quadrados dos mesmos arcos aplicados aos diâmetros dos círculos ( pelo Lema 7), e, portanto, já que estes arcos são proporcionais aos raios, a forças serão proporcionais aos quadrados de qualquer arcos descritos no mesmo tempo aplicados aos raios dos círculos. Q. E.D<sup>37</sup>

Assim, em linguagem contemporânea, a Proposição IV afirma que:

$$F \propto \frac{S^2}{R} \quad (1)$$

Nota-se que, embora a expressão (1) seja a conclusão da Proposição IV em si, o resultado de maior impacto veio com o Corolário 6 que segue a referida proposição. Para entender como Newton chegou a isso, serão reproduzidos e discutidos, em seguida, os corolários 1, 2 e 6 dessa Proposição:

**Corolário 1:** “Portanto, já que estes arcos são proporcionais às velocidades dos corpos, as forças centrípetas estão em uma razão composta da razão direta dos quadrados das velocidades e da razão inversa simples dos raios”.<sup>38</sup>.

---

<sup>37</sup> Fonte: Newton 2002, p.220.

<sup>38</sup> Fonte: Op. cit nota 37, p.487.

Como para tempos iguais temos:

$$S \propto v$$

Utilizando a relação acima na expressão (1) tem-se que:

$$F \propto \frac{v^2}{R} \quad (2)$$

**Corolário 2:** “E, já que os tempos periódicos estão em uma razão composta da razão direta dos raios e da razão inversa das velocidades, as forças centrípetas estão em uma razão direta dos raios e do quadrado da razão inversa dos tempos periódicos.”<sup>39</sup>

Assim, temos que:

$$T \propto \frac{R}{v} \quad (3)$$

Substituindo (3) em (2), tem-se que:

$$F \propto \frac{R}{T^2} \quad (4)$$

**Corolário 6.** “Se os tempos periódicos estão na raiz quadrada do cubo da razão dos raios, e, portanto as velocidades inversamente na raiz quadrada da razão dos raios, as forças centrípetas estarão na razão inversa dos quadrados dos raios e vice-versa”.<sup>40</sup>

**Sendo:**  $T \propto \sqrt{R^3}$

A terceira lei de Kepler pode ser escrita na forma

$$T^2 \propto R^3 \quad (5)$$

Portanto pelas expressões (3) e (5) temos que:

$$v \propto \frac{1}{\sqrt{R}}$$

Assim, substituindo (5) em (4) tem-se que:

$$F \propto \frac{1}{R^2}$$

---

<sup>39</sup> Fonte: Op. cit. nota 37, p.487.

<sup>40</sup> Fonte: Op. cit. Nota 37, p. 488..

Essa relação estabelece que a força centrípeta que gera um movimento circular e uniforme é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o corpo que gira e o centro do círculo.

Resumidamente, baseado nos resultados do Livro I (Proposições II e IV), bem como nos dados astronômicos previamente expostos, Newton, nas Proposições I, II e III, mostra que as forças que atuam sobre os planetas são centrais, orientadas para o foco da trajetória e variam na razão inversa do quadrado da distância.

Na Proposição IV (Teorema IV) do Livro III onde se enuncia “*A Lua gravita em direção à Terra, e pela força da gravidade é continuamente afastada do seu movimento retilíneo e mantida na sua órbita*” (Newton, 2002, p.407).

De acordo com a demonstração feita por Newton, onde são exibidos argumentos numéricos, o objetivo desta proposição é, sobretudo mostrar que é a mesma, a força que é responsável pela queda dos corpos para a Terra, bem como a outra que sustenta a Lua na sua órbita. No Escólio a esta proposição, Newton ilustra o uso das suas Regras de Raciocínio em Filosofia com que abre o Livro III: se ambas as forças referidas (gravidade dos corpos pesados e força central atuando sobre a Lua) possuem a direção do centro da Terra e têm o mesmo valor então deverão possuir a mesma causa. A conclusão exposta nesta última proposição é generalizada para os satélites dos vários planetas nas Proposições V e VI. Na Proposição VII escreve: “*Existe o poder de gravidade pertencendo a todos os corpos, proporcional em várias quantidades à matéria que eles contêm*”(Newton, 2002, p.414). Está definida a constante de proporcionalidade como uma função da massa gravítica; é nesta proposição que Newton enuncia a Lei da Gravitação Universal. Completou-se assim o raciocínio que possibilitou concluir que a força de atração gravítica sobre um corpo de massa  $m_1$  é dada pela tão conhecida expressão analítica:

$$f_1 = k \frac{m_1}{r^2}$$

Como a força  $f_2 \propto k \frac{m_2}{r^2}$ , daí vem  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

É baseado nos postulados ditados pela natureza, sendo o alicerce de toda a Mecânica Clássica, que Newton chegou à formulação de uma lei que unifica o mundo terrestre com o mundo celeste, uma lei que explica a queda da maçã à superfície da

Terra e a trajetória de qualquer planeta do sistema solar. Assim, quaisquer massas devem atrair-se de acordo com a mesma Lei. Eis o paradigma do pensamento Newtoniano, a forma de raciocínio científico criador que viria a marcar as Ciências Físicas até aos nossos dias.

Cabe destacar aqui a importância do conceito de gravidade de Kepler (p.121) que afirma que entre dois corpos quaisquer, onde um atrai o outro na “*proporção da massa do outro,*” como aparece também na expressão da gravitação universal de Newton.

### **3.8 A Sequência didática**

A construção de nossa sequência didática integra dois eixos centrais: o primeiro é a abordagem historiográfica da ciência, ou melhor dizendo, uma historiografia didática da ciência; o segundo eixo que contempla a construção de alguns episódios históricos da Teoria da Gravitação Universal de Newton. Por exemplo, discutimos como Galileu trabalha o problema da queda dos graves, como Kepler resolve os problemas decorrentes das observações coletadas por Tycho Brahe sobre os planetas, ou ainda, a sua interessante e nova concepção de gravidade e de atração entre corpos cognatos. Nas Notas de Aula do professor João Zanetic é possível acompanhar a evolução desses conceitos, e dizer que, num dado momento posterior, tiveram seus significados explicitados.

A escolha por trabalhar o tema da Gravitação deu-se pelos seguintes fatores:

- i. Por entender a relevância dessa temática, relacionada com o surgimento da mecânica, que possibilita utilizar amplamente a história da ciência que permite entender a física como cultura;
- ii. A evolução das ideias da mecânica, da qual o estudo da gravitação ocupa uma posição de destaque, acaba se confundindo com a história do nascimento da própria física clássica, assim denominada após o advento do paradigma newtoniano no século XVIII (ZANETIC, 1989);
- iii. Permite abandonar a ênfase, no Ensino Médio, dada às fórmulas da física.

Numa sala de aula, o tema Gravitação permite um diálogo com vários fenômenos do cotidiano como os fenômenos do céu noturno, a observação dos planetas, explicação das estações do ano, as observações das fases da Lua, assim como a queda dos graves, as marés, entre outros, tentando com isso dar um significado físico para esses fenômenos. Em torno desse tema, o professor pode abordar toda a construção da mecânica, utilizando a Gravitação como estratégia de ensino, aquilo que Paulo Freire denomina de Tema Gerador. (ZANETIC, 1989).

Nossa intenção não era apenas contemplar os conceitos, as leis, os dados de observação, os dados empíricos, mas apresentar uma visão mais cultural da Física (ZANETIC, 1989), abordando as várias propostas conflitivas em cada fase do desenvolvimento histórico da gravitação.

Como fruto de sua tese de doutorado, Forato (2009, vol.1, p.188-196) elaborou um conjunto de parâmetros para subsidiar a construção de sequências didáticas que envolvam a história, a filosofia e a sociologia da ciência na educação básica em contextos reais de sala de aula. (TEIXEIRA et. al 2012; HÖTTECKE, 2011). Em sua tese de doutorado sobre cosmologia Bagdonas (2015) sintetizou os parâmetros de Forato (2009) num conjunto de 19 parâmetros.

Vamos assumir apenas alguns desses parâmetros como estruturantes para elaboração de nossa sequência didática, visto que se trata de um material instrucional que foi construído a partir das *Notas de Aula* do professor João Zanetic. Portanto, um texto já pronto que carrega em seu conteúdo os pressupostos teóricos que nortearam sua elaboração. Cabe destacar que Zanetic utilizou a “Estrutura das revoluções científicas” de Thomas Kuhn como eixo epistemológico na elaboração de suas *Notas de Aula*. Portanto, uma abordagem histórica fortemente influenciada por “paradigmas”, “crises” e “rupturas” presentes nas epistemologia e história Kuhnianas e que conseqüentemente está explícita em nosso material histórico instrucional.

A seguir, apresentamos resumidamente os 19 parâmetros e explicitamos nossas escolhas da tomada de decisão que levam à construção da sequência de ensino e aprendizagem:

- 1- Estabelecer os propósitos pedagógicos para a abordagem histórica no ensino;

- 2- Explicitar a concepção de ciência adotada e os aspectos epistemológicos pretendidos;
- 3- Selecionar o tema e os conteúdos históricos apropriados;
- 4- Selecionar os aspectos a enfatizar e a omitir em cada conteúdo da história da ciência;
- 5- Confrontar os aspectos omitidos com os aspectos da natureza da ciência objetivados;
- 6- Definir o nível de detalhamento do contexto não científico a ser tratado;
- 7- Mediar as simplificações e omissões, pois enfatizar a influência de aspectos não científicos pode promover interpretações relativistas extremas;
- 8- Avaliar quando é necessário superar ou contornar a ausência de pré-requisitos nos conhecimentos matemáticos, físicos, históricos, epistemológicos;
- 9- Combinar um grupo de estratégias e recursos didáticos distintos pode contornar a falta de conhecimento em certos conteúdos físicos e matemáticos. Por exemplo, quando a omissão da matemática não é problemática para os objetivos pretendidos: riscos envolvidos;
- 10- Definir o nível de profundidade e formulação discursiva dos conteúdos epistemológicos;
- 11- Ponderar sobre o uso de fontes primárias na escola básica;
- 12- Abordar diacronicamente os conteúdos da história da ciência de difícil compreensão atualmente: é interessante estabelecer relação entre resultados relevantes para a construção da ciência com conteúdos descartados ou atualmente considerados “esquitos”;
- 13- Abordar diacronicamente diferentes concepções de ciência e o pensamento dos filósofos naturais e cientistas de distintos períodos e

civilizações: apresentar vários pensadores contemporâneos trabalhando com os mesmos pressupostos metodológicos pode auxiliar a crítica ao preconceito e ao anacronismo;

14- Apresentar exemplos de teorias superadas em diferentes contextos culturais permite criticar ideias ingênuas sobre história e epistemologia da ciência, como a possível concepção de que a ciência atual pode resolver todos os problemas;

15- Defender uma nova ideia conflitante com aquelas predominantes no repertório cultural dos estudantes requer o uso de estratégias capazes de criar desconforto, conflitos que permitam o questionamento de ideias preestabelecidas;

16- Compensar a falta de preparo do professor para lidar com saberes da história e filosofia da ciência na sala de aula inclui prepará-lo para identificar e problematizar manifestações anacrônicas. Materiais didáticos poderiam incluir orientações e advertências sobre ideias inesperadas e possíveis modos para se lidar com elas;

17- Escolher temas que despertem a curiosidade da faixa etária pretendida. A escolha não pode considerar apenas critérios técnicos e objetivos, mas envolver os estudantes é fundamental;

18- Ponderar sobre a quantidade e profundidade dos textos;

19- Questionar cada mensagem objetivada sobre a natureza da ciência em diferentes atividades didáticas e distintos episódios históricos.

Destacamos a seguir os parâmetros que adotamos:

### **1. “Estabelecer os propósitos pedagógicos para a abordagem histórica no ensino”.**

O objetivo geral de nossa sequência didática histórica (SDH) é permitir que os estudantes percebam que a ciência está embasada num contexto histórico-cultural de

longa duração. Para isso, adaptamos as *Notas de Aula* do professor João Zanetic como material instrucional para os estudantes do ensino médio, baseado, principalmente, na abordagem histórica. Os propósitos pedagógicos estão explicitados a seguir:

Nossa proposta pedagógica de inserção da gravitação universal, a partir de um viés histórico no ensino médio, não teve como objetivo lançar mão do contexto histórico como uma mera ferramenta, mas sim como um eixo condutor do trabalho, capaz de contextualizar a construção do conhecimento científico.

Quanto à estruturação das atividades a serem desenvolvidas em sala de aula, conforme apresentamos no capítulo 2, nos orientamos numa perspectiva dialógica e problematizadora da ação didática, fundamentada na metodologia da dinâmica dos três Momentos Pedagógicos (DELIZOICOV, ANGOTTI & PERNANBUCO, 2011, p.200).

Vale ressaltar que inspirados na experimentação problematizadora de Paulo Freire, optamos no primeiro momento (problematização inicial) apresentar o texto sem qualquer discussão teórica anterior. Nesse primeiro contato com o tema, os estudantes realizam o que Freire (2005) denomina de leitura - de - mundo.

Destacamos que os três momentos pedagógicos não se resumem a uma sequência rígida e estanque de etapas a serem desenvolvidas pela professora/pesquisadora. Esta abordagem exige do professor o desenvolvimento de uma observação atenta, para que possa confrontar a estrutura conceitual preexistente do estudante, sua relevância e significado, no sentido de identificar suas limitações em relação a um novo conhecimento. A seguir apresentamos sucintamente um resumo de cada texto, os momentos pedagógicos e as estratégias de cada aula.

Quadro 1

### Síntese das Estratégias dos Momentos Pedagógicos

Problematização Inicial (PI)	Organização do Conhecimento (OC)	Aplicação do Conhecimento(AC)
<p>A professora pesquisadora distribuiu a turma em pequenos grupos, com três ou quatro integrantes, no máximo;</p> <p>Cada grupo leu um parágrafo do texto em conjunto com a professora para garantir a leitura completa do texto por todos.</p>	<p>Discussão da questão problematizadora em pequenos grupos;</p> <p>Síntese das conclusões do grupo para posterior plenária com a sala;</p> <p>Este segundo momento, os estudantes devem discutir as questões problematizadoras. O objetivo é sempre reformular as ideias trazidas pelos estudantes, discutindo as “situações- limite”.</p> <p>Nesta etapa em algumas aulas foram realizadas entrevistas com os estudantes. A entrevista teve como objetivo investigar mais criteriosamente suas impressões, dúvidas e/ou complementar seus argumentos e contrapor os dados escritos com as discussões em sala de aula.</p>	<p>Nesta fase os estudantes responderam a questão problematizadora inicial por escrito em grupo;</p> <p>Cada grupo leu sua resposta, socializando com a sala;</p> <p>Neste momento, outros grupos podiam também se posicionar em relação a questão. A professora retomou a problematização inicial e fez uma síntese das principais ideias do texto.</p> <p>Foi um momento de muita intervenção por parte de outros estudantes e dialogo e questionamentos com a professora pesquisadora.</p>

Quadro 2

<b>Texto 1: A Saga Inicial: Um pouco de História e Filosofia...</b>		
<b>Conteúdo:</b> O texto aborda as primeiras tentativas que os primeiros filósofos gregos fazem para compreender a natureza da matéria e a constituição do Universo.		
<b>PI</b>	<b>OC</b>	<b>AC</b>
<p>A professora pesquisadora iniciou a problematização com o seguinte questionamento: <i>Do que é feito o mundo?</i> Esta é a questão que os primeiros filósofos procuraram responder.</p> <p>A questão problematizadora procurou discutir os pensadores gregos em termos de componentes fundamentais chamados elementos.</p>	<p>Retomada da leitura e discussão em pequenos grupos. Neste momento a professora pesquisadora retomou a questão central problematizadora, instigando os estudantes a discutir as diferentes concepções que os primeiros filósofos gregos elaboraram para entender a constituição do Universo. Neste momento, alguns alunos manifestaram em suas falas algumas ideias.</p>	<p>As principais questões que emergiram na problematização inicial foram retomadas pelos estudantes. Nessa última etapa foi enfatizado pela professora pesquisadora que os primeiros filósofos gregos buscavam uma explicação racional para os fenômenos observados. Portanto, não se tratava de concepções ingênuas sobre a natureza.</p> <p>Foi solicitado que os estudantes respondessem a seguinte questão:</p> <p><i>Por que os primeiros filósofos chegavam a diferentes conclusões para explicar os fenômenos da natureza?</i></p>

## Quadro 3

**Texto 2: Por que as coisas pesadas caem? Parte I**

**Conteúdo:** Inicialmente o texto explora as primeiras hipóteses sobre a forma e o movimento dos corpos celestes. Também discute as principais diferenças entre a concepção idealista de Platão e o racionalismo observacional de Aristóteles.

PI	OC	AC
<p>A questão problematizadora inicial lançada pela pesquisadora: <i>por que um corpo cai?</i> teve como objetivo identificar a percepção inicial dos estudantes em relação ao conceito de gravidade. A partir deste questionamento a pesquisadora incentivou os estudantes a respondê-la. Em seguida fez a seguinte questão: <i>Mas o que é a gravidade?</i> Como você explica a queda de um grave (giz)? Os estudantes foram incentivados a buscar uma explicação plausível para a queda do giz.</p>	<p>Neste momento a professora<sup>41</sup> aprofundou a discussão, abordando a diferença entre o pensamento platônico que tem uma concepção idealizada e descritiva da natureza, não importando a realidade física e a cosmologia aristotélica que tinha como fundamento a observação da natureza. Estes aspectos epistemológicos foram enfatizados nesta etapa. Neste momento destacamos a diferença entre os conceitos de conhecimento visível e inteligível de Platão. Ressaltamos para os estudantes a importância desses conceitos para o conhecimento físico. A partir daí problematizamos o papel da geometria para Platão e sua ideia de um mundo esférico perfeito.</p>	<p>As principais questões que emergiram na problematização foram retomadas com os estudantes.</p> <p>Foi solicitado que os estudantes respondessem as seguintes questões da apostila:</p> <p>1- Como você imaginaria o movimento retrógrado dos planetas explicado pelo modelo heliocêntrico de Aristarco de Samos?</p> <p>2- Por que motivos o modelo de Aristarco de Samos foi rejeitado?</p> <p>3- Faça um breve resumo das causas principais que tornaram o paradigma aristotélico-ptolomaico bem aceito em sua época.</p>

<sup>41</sup> A partir daqui “professora” representará a “professora pesquisadora”.

## Quadro 4

**Texto 2: Por que as coisas pesadas caem? Parte II**

**Conteúdo:** O texto aborda as primeiras tentativas de explicar os movimentos dos astros. Aqui aparecem duas modelagens: uma que concebe a Terra no centro do Universo (modelo aristotélico-ptolomaico) outra, que será a dominante na astronomia grega, que concebe a Terra em movimento (modelo heliocêntrico).

PI	OC	AC
<p>A questão problematizadora inicial lançada pela professora: <i>A Terra está em movimento ou está parada?</i> Nesta etapa foi solicitado que os estudantes respondessem a questão problematizadora. Foi solicitado que os estudantes lessem o texto em pequenos grupos com o propósito de instrumentalizar o estudante para posterior discussão.</p>	<p>Neste segundo momento, destacamos que o modelo geocêntrico se apoia nas observações do céu. Como exemplo, podemos observar que o Sol e as estrelas se movimentam ao redor da Terra. Consequentemente, a primeira impressão é que a Terra não se movimenta. Com essa explicação, a professora retoma a questão: <i>A Terra se move ou não?</i> É importante ressaltar que a professora esclareceu para os estudantes a diferença entre o modelo geocêntrico e referencial geocêntrico, para que estes compreendessem a diferença entre as concepções (aristotélica e ptolomaica) da Terra como centro do Universo e da Terra como referencial.</p>	<p>As principais questões que emergiram na problematização foram retomadas com os estudantes. Foi solicitado que os estudantes respondessem as seguintes questões da apostila por escrito: 1- Como você imaginaria o movimento retrógrado dos planetas explicado pelo modelo heliocêntrico de Aristarco de Samos?</p> <p>2- Porque motivos o modelo de Aristarco de Samos foi rejeitado?</p> <p>3- Faça um breve resumo das causas principais que tornaram o paradigma aristotélico-ptolomaico bem aceito em sua época?</p>

## Quadro 5

**Texto 3 – Preparando o terreno...**

**Conteúdo:** Contrapondo-se a visão geocêntrica do modelo aristotélico-ptolomaico, Copérnico propôs seu sistema heliocêntrico, no século XVI. Este modelo contrariava o paradigma dominante e colocava a Terra orbitando em torno do Sol como os demais planetas. O movimento da Terra deveria afetar o movimento da queda dos corpos. No entanto, a teoria heliocêntrica exigia uma nova física para explicar esse fenômeno.

PI	OC	AC
<p>A questão problematizadora inicial do encontro foi a seguinte: Aristóteles e Ptolomeu pensavam que a Terra estivesse no centro do universo e que o Sol girava em torno da Terra. A Terra está em movimento ou está parada? Conseguimos provar pelos sentidos e simples observação que a Terra está em movimento?</p> <p>A partir da época de Copérnico começou gradualmente a ser aceito a Terra e outros planetas girar em torno do Sol. Você certamente crê nisto, assim como crê que a Terra é esférica. Mas pelas evidências de nossos sentidos, como nós vemos o Sol se mover através do céu durante o dia, por exemplo, não há razão para preferir um modelo sobre o outro. Que argumentos você usaria para defender o modelo de Copérnico, ou seja, que é a Terra e não o Sol que se movimentam. Discuta justificando seus argumentos.</p> <p>Como Copérnico rebateu as objeções de que a rotação da Terra deveria provocar a</p>	<p>Neste momento, propomos a leitura do texto que apresenta os trabalhos de Copérnico. Após a leitura e com base nos questionamentos dos estudantes, foram retomadas algumas discussões e enfatizados alguns pontos importantes para a melhor compreensão por parte dos estudantes. Por exemplo, a professora esclareceu que o que vemos é o Sol girar em torno da Terra, e não o oposto. Sabemos que é o Sol que nasce no leste e se põe no oeste. Fazer a Terra girar em torno do Sol é contraintuitivo. Portanto o que notamos é que os sentidos podem nos enganar, construir uma ideia falsa em relação a realidade. <b>Mas por que razão Copérnico desafiou o sistema geocêntrico vigente?</b> A Igreja aceitava muito bem o modelo geocêntrico já que a separação entre os mundos sublunar (mundo onde as transformações e mudanças podiam ocorrer) e o mundo supralunar (perfeito e incorruptível) estava de acordo com seus dogmas. Pôr o Sol no centro era rebaixar a Terra colocando-a como mais um planeta. Mas para pôr o Sol no centro, era preciso criar uma nova Física, em que a Terra e todos os planetas obedecessem aos mesmos princípios, o que contrariava a percepção do senso comum de uma Terra estacionária. <b>Portanto, vemos que o ato de observar é condicionado pelos pressupostos teóricos ou filosóficos de quem observa.</b> A crença associada ao</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O que levou Copérnico a imaginar um sistema diferente como explicação para os fenômenos observados? Justifique.</li> <li>2. Em sua opinião quais foram as principais motivações que levaram Copérnico a construir seu modelo?</li> <li>3. Que argumentos você usaria para defender o modelo heliocêntrico?</li> <li>4. Em sua opinião, afirmar que o Sol está no centro do Sistema Solar e que os planetas giram à sua volta é óbvio e intuitivo? Justifique</li> <li>5. Como é compreendido o movimento retrógrado dos planetas no modelo copernicano?</li> </ol>

<p>expulsão de todos os corpos de sua superfície?</p> <p>Neste momento, propomos a leitura do texto que apresenta os trabalhos de Copérnico. Após a leitura do texto os estudantes foram orientados para que fizessem a discussão em pequenos grupos. Também os direcionei para que anotassem suas dúvidas, partes que não entenderam e perguntas que gostariam de fazer, evitando que minha autoridade como professora dirigisse suas respostas em relação a problematização inicial, segundo as minhas expectativas.</p>	<p>dogma da imutabilidade dos céus constituía-se em obstáculo à aceitação do modelo de Copérnico. Por exemplo, ao mesmo tempo em que rompe com a tradição, oferecendo um novo sistema de mundo, ainda mantém alguns princípios do antigo modelo aristotélico - ptolomaico. <b>Mas, que motivos levaram Copérnico a realizar essa mudança?</b></p> <p>Algumas razões foram de ordem estética. Uma delas se refere aos movimentos celestes. Estes deveriam ser em órbitas circulares e com velocidades constantes, já que o círculo era a figura geométrica mais perfeita, onde todos os pontos são equivalentes. Neste momento a professora resgatou a ideia de perfeição do círculo de Platão.</p> <p>A segunda razão usada por Copérnico era o arranjo dos planetas em torno do Sol. Na época, já se conhecia o período orbital dos planetas, ou seja, o tempo que eles levavam para dar uma volta completa em torno do Sol. Portanto eles os arranjou da seguinte forma: em ordem crescente, de modo que Mercúrio, de período menor, fique mais perto do Sol e Saturno de período maior, fique mais longe do Sol. A professora destacou que não se conheciam ainda os planetas Urano, Netuno e Plutão, invisíveis a olho nu. Dessa forma, Copérnico, lançou um novo sistema de mundo, mesmo sem evidências observacionais. Não podemos deixar de mencionar que a hipótese de Copérnico veio a se constituir a base para a compreensão do movimento dos planetas.</p>	
--	--	--

## Quadro 6

**Texto 4: As contribuições de Tycho Brahe, Kepler, Giordano Bruno e Galileu**

**Conteúdo:** O texto aborda o Renascimento e contempla a ideia de que o conhecimento físico é permeado por concepções ou visões de mundo associadas a aspectos culturais, sociais, políticos e filosóficos.

PI	OC	AC
A professora iniciou a problematização com o seguinte questionamento: Parece fácil afirmar que o Sol está no centro do Sistema Solar e que os planetas giram à sua volta em órbitas aproximadamente elípticas. Mas por que é tão difícil aceitar uma nova concepção de Universo, uma nova teoria?	Retomada da leitura e discussão em pequenos grupos. Neste momento a professora retomou a questão central problematizadora, instigando os estudantes a discutir as diferentes concepções que os primeiros filósofos gregos elaboraram para entender a constituição do Universo e sua ligação com o contexto cultural de cada época.	1-Descreva algumas razões que impediram que o modelo copernicano fosse logo aceito.

## Quadro 7

**Texto 5: Os Defensores Do Sistema Copernicano: Giordano Bruno e Galileu Galilei**

**Conteúdo:** O texto 5 abarca aspectos das discussões sobre Giordano Bruno e a infinitude do Universo. Também descreve as contribuições de Galileu para a história da mecânica, entre elas a sua contribuição para o estabelecimento do princípio da inércia e sua explicação do movimento de queda dos corpos, que permite relacioná-lo também com a história da gravitação.

PI	OC	AC
<p>A professora iniciou a problematização inicial da seguinte forma: Passaram-se mais de 50 anos até que as ideias copernicanas fossem aceitas. Por que tanta demora? Veremos que a grande virada começou com Galileu e Kepler no início do século XVII, ambos defensores de Copérnico, por motivos diferentes.</p> <p>Estudamos a dificuldade do modelo de Copérnico em refutar os aristotélicos na seguinte questão: se a Terra está em movimento, por que não percebemos pelos sentidos seus efeitos na superfície? Como Galileu conseguiu justificar e dar uma explicação satisfatória para esse problema.</p>	<p>Retomada da leitura e discussão em pequenos grupos. Neste momento a professora retomou a questão central problematizadora, instigando os estudantes a discutir o movimento que tem como pano de fundo o debate sobre a possibilidade de rotação da Terra.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Descreva algumas razões que impediram que o modelo copernicano fosse logo aceito.</li> <li>2. Com as observações de Galileu contribuíram para a consolidação do modelo heliocêntrico?</li> <li>3. As observações de Galileu foram a causa que o levaram a acreditar no modelo de Copérnico? Justifique.</li> <li>4. Leia com o seu grupo a literatura de Cordel Galileu: Vida e Obra, de Gonçalo Ferreira da Silva e transforme o texto de cordel em outro gênero literário que pode ser: texto dissertativo, jornalístico, poema ou poesia.</li> <li>5. Quais foram as principais contribuições de Galileu para a consolidação do modelo copernicano?</li> <li>6. Uma bola está rolando sobre o tampo de uma mesa de bilhar cada vez mais lentamente até parar. Como Aristóteles interpretaria essa observação? Como Galileu a interpretaria?</li> </ol>

## Quadro 8

**Texto 6 - As Contribuições de Tycho Brahe e Johannes Kepler**

**Conteúdo:** Este texto o descreve Kepler, suas contribuições para a astronomia física e o acesso aos dados de Tycho Brahe, além de apresentar suas arrojadas ideias gravitacionais.

PI	OC	AC
<p>Galileu contribuiu muito para a aceitação do modelo heliocêntrico, com suas observações. No entanto, admitir o Sol como o centro do Universo, com os planetas girando ao seu redor em órbitas circulares, ainda não explicava totalmente as discrepâncias apresentadas pelos dados observacionais.</p> <p>Algumas questões de Kepler em relação ao sistema de Copérnico eram: por qual razão existiam exatamente seis planetas e não outro número qualquer? Por que as velocidades orbitais dos planetas decresciam segundo a ordem em que distam do Sol?</p>	<p>Neste segundo momento a professora enfatiza os principais problemas e questões de natureza científica e epistemológica. Kepler pretendia investigar as causas dos movimentos dos planetas. Para ele, deveria existir uma causa real para as órbitas planetárias. Além de grande habilidade matemática, Kepler possuía um lado místico, acreditando que Deus tinha criado um universo perfeito. No entanto, para Kepler, a harmonia do Universo só pode ser entendida em termos matemáticos. Assim, Kepler, imaginou não ser mera coincidência o fato do número de sólidos regulares corresponder ao número de intervalos de separação entre os seis planetas, e de poderem estes sólidos inscrever e circunscrever esferas. Por exemplo, a esfera de Saturno, circunscreve a esfera de Júpiter, que circunscreve o tetraedro regular. Desse modo, ele imaginou um modelo no qual os sólidos regulares estivessem associados às esferas, onde os planetas orbitavam e cujo centro era o Sol. Mas logo Kepler percebeu, que para algumas órbitas a diferença era muito grande e logo teve de alterar seu modelo para ajustar os dados. Em relação às velocidades orbitais, Kepler estudando atentamente a órbita do planeta Marte e comparando com as observações precisas de Tycho Brahe descobriu que as órbitas dos planetas não eram exatamente circulares. E assim, ele chega à sua famosa lei das órbitas. Com isso, substituiu todos os artificios geométricos( epíclis e excêntricos) dos antigos gregos,</p>	<p>1.Por que Kepler inicialmente não abandonou a órbita circular?</p> <p>2.Discuta com o seu grupo as afirmações abaixo. Em seguida, compare as conclusões com outros grupos.</p> <p>a)Uma das características da ciência é a busca de regularidades na natureza.</p> <p>b)O método científico é um conjunto de etapas linearmente construído, que oferece espaço para a imaginação, criatividade e intuição.</p> <p>4)Em 1572, foi publicado pela primeira vez Os Lusíadas, de Luiz de Camões, um dos clássicos escritores portugueses. A obra, escrita toda em versos, é dividida em dez cantos e 1102 estrofes. Sua linha central é a história da descoberta do caminho para as Índias por Vasco da Gama. Em paralelo, diversos episódios da história de Portugal são introduzidos, o que torna a obra uma verdadeira glorificação do povo português. No canto décimo, a deusa grega Tétis apresenta o Universo a Vasco da</p>

	<p>rompendo definitivamente com a tradição do círculo, uma vez que vimos que a velocidade de um planeta varia ao longo de sua órbita o que constitui a segunda lei de Kepler, conhecida como lei das áreas.</p> <p>Ao contrário dos gregos, Kepler não desejava apenas “<i>salvar as aparências</i>” do que era observado. Ele buscava uma causa física para os fenômenos observados. Ele não aceitava, por exemplo, o epiciclo como uma explicação plausível para o movimento dos planetas. Dois pontos devemos destacar do programa de pesquisa de Kepler:</p> <p>1) O lado místico de Kepler não interfere no seu lado crítico que sabe confrontar as ideias com a experiência.</p> <p>2) Devemos observar que embora Kepler tenha concluído que as órbita planetárias são elípticas, elas têm excentricidade bem pequenas, ou seja, são praticamente circulares.</p> <p>3) Chamamos a atenção para o fato de que o período da órbita está associado ao seu tamanho. Assim, existe uma relação entre o tempo que o planeta leva para completar uma volta completa ao redor do Sol e o tamanho e o formato da órbita. Portanto, por exemplo, se um objeto de dimensões menores do que a Terra estivesse em sua órbita, esta também teria um período de 365 dias. Devemos destacar também que as Leis de Kepler, tal como a cinemática, forneceram uma descrição dos movimentos planetários, sem explicar suas causas. Veremos posteriormente, que isso foi realizado por Newton, com a lei da gravitação universal.</p>	<p>Gama:</p> <p>Vês o céu de Saturno, Deus antigo; Júpiter logo faz o movimento,</p> <p>E Marte abaixo, bélico inimigo;</p> <p>O claro Olho do Céu, no quarto assento;</p> <p>E Vênus, que os amores traz consigo;</p> <p>Mercúrio, de eloquência soberana;</p> <p>Com três rostos, abaixo, ai Diana.</p> <p>Camões, L.V. de Os Lusiadas</p> <p>São Paulo, Nova Cultural, 2002, p.305.</p> <p>a. Identifique o modelo de Universo apresentado na estrofe acima.</p> <p>b. Identifique a que corpo celeste corresponde o “claro olho do céu”</p> <p>c. Identifique a que corpo celeste corresponde “Diana”.</p> <p>d. Associe os “três rostos”, com um fenômeno muito conhecido, atribuído ao movimento da Lua em torno da Terra.</p>
--	---	--

## Quadro 9

**Texto 7: Os Caminhos de Newton Para os “Principia” (Princípios)**

**Conteúdo:** Este texto descreve Kepler, suas contribuições para a astronomia física e o acesso aos dados de Tycho Brahe, além de apresentar suas arrojadas ideias gravitacionais.

PI	OC	AC
<p>A questão problematizadora inicial foi a seguinte: Quais as causas físicas dos movimentos dos planetas? Você lembra a nossa questão inicial: Por que a Lua não cai sobre as nossas cabeças? Por que e como a Lua gira em torno da Terra?</p> <p>Neste primeiro momento a professora busca ouvir os conhecimentos prévios dos estudantes.</p> <p>Neste momento ao invés de simplesmente responder diretamente as questões, a professora busca os questionamentos e os argumentos dos estudantes, os direcionando-os para um diálogo crítico com o tema. Assim, nossa opção foi orientar os estudantes para que lessem o texto, com o objetivo de instrumentalizá-los para a sua participação mais efetiva nas discussões nas aulas, posteriormente.</p>	<p>Nesta etapa foram resgatadas brevemente as contribuições de Kepler e Galileu. Este momento é oportuno para destacar que coube a Newton estudando o movimento dos planetas e apoiando-se nas três leis de Kepler, chegou ao Princípio da Gravitação Universal. É importante mencionar para os estudantes que ao postular, nos <i>Princípios</i>, a existência de uma força gravitacional, Newton rompe com a ideia vigente na época de que toda ação física de um corpo sobre outro deve dar-se apenas por contato. Assim, também foram contemplados nas discussões com os estudantes alguns críticos que não aceitavam a ação a distância. Dentre eles, Gottfried Wilhelm Leibnz (1646-1716), um dos críticos da teoria newtoniana e que não aceitava a ideia de ação à distância. Na mesma linha, outro importante filósofo, René Descartes que procurou explicar os movimentos dos corpos celestes a partir de um modelo mecânico. Destacar esses pontos sinaliza para o estudante a percepção de que a Ciência também tem lugar para controvérsias e que faz parte da construção da prática científica.</p> <p>Nesta etapa surge a seguinte questão: Como Newton chegou a essa ideia?</p> <p>Neste momento, a professora</p>	<p>Questões:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Podemos dizer que a Lua “cai” ao redor da Terra, ao invés de cair diretamente sobre ela. Se a velocidade tangencial fosse zero, como a Lua se moveria?</li> <li>2. De acordo com a equação da lei da gravitação universal, o que acontece à força entre dois corpos se a massa de um deles for dobrada? E se ambas forem dobradas?</li> <li>3. A força gravitacional atua sobre todos os corpos em proporção às suas massas. Por que, então, um corpo pesado não cai mais rápido do que um leve?</li> <li>4. A meio do caminho no centro da Terra, a força da gravidade sobre você seria menor do que a que é exercida quando você se encontra na superfície da Terra?</li> <li>5. Em sua opinião, a observação da natureza é simples, de modo a não permitir diferentes interpretações?</li> <li>6. O cientista depende exclusivamente da observação do experimento para elaborar sua teoria</li> </ol>

	retoma as questões científicas, abordando como Newton chegou ao Princípio da Gravitação Universal. Aqui a professora ressalta que Newton utilizou um “experimento idealizado” para entender que uma força desvia a Lua da sua trajetória retilínea e a mantém presa à Terra. Logo em seguida, apresentamos a demonstração matemática da Lei da Gravitação Universal.	
--	--	--

Os parâmetros **(2)** e **(3)** foram sintetizados no quadro **10** abaixo, onde também apresentamos nossa proposta do curso composta pelos tópicos de física:

Quadro 10

3. “Selecionar os temas e os conteúdos históricos apropriados”.		2. “Explicitar a concepção de ciência adotada e os aspectos epistemológicos pretendidos”.
Textos	Objetivos Conceituais	Objetivos Epistemológicos
<b>1. A Saga Inicial: Um pouco de História e Filosofia</b>	Compreender o pensamento dos primeiros filósofos gregos sobre a natureza da matéria.	Discutir a relação entre a observação e teoria;
<b>2. Por que as coisas pesadas caem?</b>	Compreender as ideias cosmológicas de Platão;  O Universo finito de Aristóteles e o caráter rígido de ordenamento do cosmos, fundado em concepções de natureza metafísica;  Compreender a estrutura do Universo segundo Aristóteles e seu conceito de movimento natural e violento;  O heliocentrismo de Aristarco de Samos.	O dogma do movimento circular e uniforme;  Compreender as principais diferenças entre a concepção idealista de Platão e o racionalismo observacional de Aristóteles;  Compreender os diferentes sistemas cosmológicos e artifícios matemáticos na tentativa de “salvar as aparências”.
<b>3. Preparando o terreno</b>	A hipótese heliocêntrica de Copérnico e o conflito com a física de Aristóteles.	Apresentar a teoria heliocêntrica de Copérnico e suas consequência do ponto de vista cultural;  O conflito com a tradição cultural e religiosa: a imutabilidade do céu como obstáculo epistemológico à aceitação do modelo de Copérnico.
<b>4. As contribuições de Tycho Brahe, Kepler, Giordano Bruno e Galileu</b>	Discutir o Renascimento como o período histórico em que ocorreram mudanças na forma de pensar da humanidade, contribuindo para uma nova visão de mundo.	Problematizar o conhecimento científico como fruto do contexto cultural, influenciado por fatores extracientíficos.
<b>5. Os Defensores do Sistema Copernicano: Giordano Bruno e Galileu Galilei</b>	Discutir a importância de Giordano Bruno para a consolidação do sistema copernicano;  Discutir o papel dos chamados	Discutir a relação entre pressupostos teóricos e observação;  . Discutir a experimentação na produção do conhecimento

	<p>“experimentos idealizados” de Galileu e sua importância para a Física;</p> <p>Discutir as observações astronômicas de Galileu, as quais ele usa em favor da nova cosmologia;</p> <p>Discutir e descrever as contribuições de Galileu para a história da mecânica, entre elas a sua contribuição para o estabelecimento do princípio da inércia e sua explicação do movimento de queda dos corpos, que permite relacioná-lo também com a história da gravitação.</p>	<p>científico;</p> <p>Discutir a relação entre hipóteses, teoria e experimentação.</p>
<b>6. As contribuições de Tycho Brahe e Johannes Kepler</b>	<p>Descrever as contribuições de Kepler para a astronomia física, rompendo com a mera descrição e artifícios geométricos, buscando uma causa física para a explicação dos fenômenos.</p>	
<b>7. Os “Principia” de Newton</b>	<p>Apresentar com base na cinemática galileana e na explicação Kepleriana da atração gravitacional, como Newton construiu seu princípio da gravitação universal que se constitui no fecho da revolução científica iniciada por Copérnico.</p>	

**4. “Selecionar os aspectos a enfatizar e a omitir em cada conteúdo da história da ciência”.**

**Aspectos a enfatizar**

Em nosso enfoque, não aparece a dicotomia da história da ciência internalista *versus* externalista. Ao contrário, são aceitas e usadas, como possíveis fontes de inspiração, as tensões surgidas na análise do processo de desenvolvimento interno do

conteúdo mergulhado num contexto exterior. As tensões entre os aspectos internalistas e externalistas são consideradas como elo indissolúvel.

O **1º texto** aborda basicamente as ideias aristotélicas sobre o funcionamento do Universo. Nos **2º texto** abordamos o que ocorreu com o conhecimento científico grego ao longo do tempo. Dessa forma, enfatiza-se que a influência da cultura grega começa a diminuir devido ao fato de que os cristãos condenavam o conhecimento que teria sido produzido por um povo pagão. Nessa época, portanto, envolvendo todos os povos europeus, houve um choque entre a concepção de mundo dos gregos e aquela baseada na interpretação da bíblia.

O **3º texto** traz o desenvolvimento da hipótese de Copérnico, explorando também as dificuldades apresentadas pela revolução copernicana e que vão ser complementadas e articuladas por Galileu (**5º texto**) e Kepler (**4º texto**) e daí preparando o terreno para a teoria da gravitação de Newton que vai culminar com a ciência normal, segundo a epistemologia de Thomas Kuhn. Com base na cinemática e nas observações com a luneta de Galileu e na explicação do movimento planetário e na concepção de gravidade de Kepler, Newton traz uma nova explicação para a queda dos graves e para o movimento dos corpos celestes que se constitui no fecho da revolução científica iniciada por Copérnico. Esse é o tema do **6º texto** para os alunos. Assim, como está presente nas *Notas de Aula* do Prof. João Zanetic, estamos utilizando na elaboração dos textos a epistemologia de Thomas Kuhn, pois é fácil identificar paradigmas, crises e revoluções científicas como definidas por Kuhn (Zanetic apud Silva, p.39). Essa construção favorece, a nosso ver, a compreensão da Física como resultado de proposições, contradições, erros e acertos, embates políticos e ideológicos, e, portanto, procurando mostrar que *a física também é cultura!*

## **5. Aspectos a omitir**

Em nosso episódio histórico, devido ao tempo didático não foram explorados os mitos de diferentes civilizações na Antiguidade sobre a origem do Universo.

**6. “Definir o nível de detalhamento do contexto não científico a ser tratado”.**

Como os textos foram construídos a partir de uma abordagem histórico-cultural, alguns aspectos culturais do período estudado são parte integrante dos textos e da sequência didática.

**11. “Ponderar sobre o uso de fontes primárias”.**

Estão transcritos nos textos dos estudantes, alguns trechos de tratados dos cientistas. cremos que a presença desses pequenos trechos ilustram como o cientista originalmente elaborou suas hipótese e teorias.

## **Capítulo 4: Um ensaio empírico**

### **4.1 Questão de pesquisa**

Como discutido inicialmente nesta tese, o presente trabalho visa investigar em que medida a interface entre história da ciência e ensino promove uma concepção mais cultural da física, por parte dos estudantes do ensino médio. Cabe ressaltar que ao referir-se à dimensão cultural da Física, o destaque está não somente nos aspectos internos da ciência, como também no contexto cultural no qual este campo de conhecimento se desenvolveu.

Nos capítulos anteriores foram discutidos alguns princípios historiográficos que melhor se ajustariam com a perspectiva de levar à sala de aula e ao estudante uma educação científica direcionada pela história da ciência, segundo pesquisadores como Forato (2010) que nos alerta em relação a alguns obstáculos e desafios contornáveis para a efetiva implementação deste tipo de abordagem na sala de aula, bem como o trabalho de Zanetic (1989) que problematiza a dimensão cultural da física na escola básica, trazendo à discussão a história da ciência como elemento mediador fundamental dessa dimensão cultural.

Nesse sentido, fundamentados em nossos aportes teóricos, propomos neste capítulo, discorrer sobre um estudo de caso assim como a estratégia e a metodologia de análise empregadas no presente trabalho, estabelecendo como questão de pesquisa:

*O enfoque histórico-epistemológico da física pode ser um caminho útil para problematizar a ideia de que Gravitação também é cultura no ensino médio?*

#### **4.1.1 O Contexto da pesquisa: o percurso metodológico e os dados coletados**

Metodologicamente existe uma variedade de possibilidades que podem contemplar a inclusão da história da ciência na educação científica, como, por exemplo, narrativas históricas, desenvolvimento histórico de um modelo conceitual, interação com trabalhos de fontes originais, reproduções de experimentos clássicos ou históricos ou um estudo de caso histórico.

Nos concentraremos nesse último em função do trabalho que desenvolvemos com a abordagem histórico-epistemológica na sala de aula.

Segundo Stinner (2003), os estudos de casos históricos se caracterizam por princípios gerais que possibilitem o resgate do contexto em que se deu algum problema marcante da ciência: *“Os Estudos de casos são contextos históricos com uma ideia unificadora, desenhados de acordo com certos princípios gerais para explicitar o contexto de um grande problema”* (STINNER et al, 2003, p. 620).

No que concerne ao contexto histórico em que se desenvolveu determinado problema científico, num estudo de caso devem ser explorados os obstáculos epistemológicos, representados na visão do senso comum onde geralmente se apoiam algumas teorias apresentando suas potencialidades e limitações. Também devem ser explicitadas as dificuldades que acompanharam cada nova ideia e que se apresentaram como obstáculos no desenvolvimento do conhecimento científico.

Outro aspecto essencial é mostrar a dinâmica em que se dá o desenvolvimento de novas ideias, pelas quais a ciência avança, até proporcionarem muitas vezes, revoluções importantes. Para delinear esses contextos e realizar o estudo de caso histórico, o professor deve lançar mão de diretrizes que segundo Stinner et. al(2003) são as seguintes:

1. Escolher um evento marcante no desenvolvimento da ciência e identificar a ideia central;
2. Mapear o contexto em torno da ideia unificadora central. Esse mapeamento deve explicitar as ideias e questões científicas em torno do experimento ou fenômeno;
3. Criar uma história que pode ser linear ou não, que dramatize e clareie o significado da ideia. É interessante identificar um importante fato associado com uma pessoa, encontrar opositores ou eventos conflitantes e marcantes;
4. Fornecer ao estudante elementos que podem ser relacionados com seu dia-a-dia buscando, dentro do caso estudado, vínculo com o cotidiano do aluno;

5. Resolver os conflitos que foram gerados pelo contexto e encontrar conexões entre ideias discutidas e ideias atuais;
6. Assegurar que a ideia principal, concepções e problemas de um tópico sejam gerados do contexto de forma natural;
7. Assegurar uma linha que garanta a precisão e a generalização.

No entanto algumas das diretrizes acima, não dialogam com a proposta desta tese. Assim, apenas as diretrizes (1), (2), (3) e (5) são considerados como pontos de convergência com nosso trabalho. O caso que vamos tratar neste trabalho diz respeito ao que se entende por gravitação, trazendo os diversos modelos teóricos que culminaram com o surgimento da mecânica clássica, da qual o estudo da gravitação ocupa uma posição de destaque que acaba se confundindo com o nascimento da própria física clássica, com a vitória do paradigma newtoniano.

## **4.2 Objetivo Geral**

Apresentar uma proposta didática para o ensino médio que contemple a reconstrução histórica, epistemológica e cultural dos diversos modelos teóricos que permitiram a emergência da gravitação universal e os diferentes alcances de sua aplicação, ou seja, gravitação também é cultura no ensino médio.

### **4.2.1 Objetivos específicos:**

- Elaborar um texto histórico-epistemológico para o ensino médio, que contemple o objetivo geral;
- Apresentar um levantamento dos resultados das pesquisas que investigam o uso de abordagens de ensino de física orientadas pela história da ciência;
- Aplicar o texto produzido em sala de aula;
- Analisar se o texto histórico-epistemológico promoveu uma percepção mais cultural da ciência por parte dos estudantes.

### **4.3 Caracterizações do ambiente e dos participantes do ensaio empírico**

#### **4.3.1 A Escola**

A escola em que foi aplicada a pesquisa é uma Escola Técnica Estadual em que funcionam os ensinos médio e técnico. Localizada no bairro Pinheiros, é considerada a terceira melhor escola técnica do Centro Paula Souza. É preciso destacar que a qualidade das escolas desse Centro é superior à média das escolas estaduais. Uma evidência dessa qualidade é a presença desses estudantes nas universidades públicas do Estado de São Paulo.

#### **4.3.2 Os Estudantes**

No que diz respeito aos sujeitos da pesquisa, foram duas turmas de estudantes. Uma correspondente ao primeiro do ensino médio integrado ao técnico do Meio Ambiente e a segunda apenas do ensino médio. Antes do início das aulas, a professora - pesquisadora conversou com os estudantes e informou-os sobre a temática da pesquisa. Os estudantes se mostraram muito receptivos e ficaram muito animados quando receberam o texto histórico científico.

Foi solicitada autorização dos estudantes (ou responsáveis) para a gravação de algumas aulas e participação na pesquisa. Algumas aulas foram gravadas em áudio. No entanto, não foi possível gravar todas as aulas, devido a alguns imprevistos.

#### **4.3.3 Dos instrumentos elaborados para a produção dos dados**

Além da observação participativa constante da professora- pesquisadora, procurou-se apoiar em instrumentos e técnicas de coletas de dados, que são elaborados pela pesquisadora com a intenção de registrar cuidadosamente as etapas do processo. Para a abordagem qualitativa, utilizamos metodologias que privilegiassem a interação dos alunos com o material histórico-epistemológico, com seus colegas e com a professora pesquisadora.

Os materiais histórico-epistemológico que desenvolvemos para os estudantes foram levados para a sala de aula e distribuídos pela pesquisadora. Cabe ressaltar que a professora - pesquisadora mantém vínculo profissional com a escola, sendo professora

das duas turmas envolvidas na pesquisa. Os instrumentos construídos para esse fim serão descritos a seguir:

1. Produção do material histórico-epistemológico baseado nas Notas de Aula do professor João Zanetic para a disciplina Gravitação do IFUSP. O material histórico-epistemológico intitulado “Da Queda dos Graves À Queda da Lua” pode ser encontrado no Anexo I (p. 239);
2. Questionário diagnóstico inicial visando conhecer as concepções iniciais dos estudantes em relação às diferentes dimensões da ciência. Este questionário pode ser encontrado no Anexo II (p 278);
3. Registro diário de atividades da professora-pesquisadora com o objetivo de registrar impressões, questionamentos e comportamentos dos estudantes durante o processo;
4. Material constituído pela produção dos estudantes tais como: respostas dos questionários apresentados no final de cada capítulo do material histórico científico, trabalhos e avaliações da pesquisadora estão no (Anexo II, p. 279);
5. Avaliações (I e II) constituídas por questões que abordaram a temática do material histórico-epistemológico. As avaliações estão no Anexo III (p.287).

Para fim de análise, consideramos os trabalhos escritos, entrevistas e avaliações apenas daqueles estudantes que estiveram presentes em todas as aulas da aplicação da nossa proposta.

A análise envolveu o conjunto de respostas dos estudantes ao questionário, as transcrições das entrevistas, os registros de observação, os trabalhos desenvolvidos pelos estudantes durante o curso com o material histórico científico. Consideramos também as anotações das aulas e o olhar atento da professora pesquisadora nas dúvidas, colocações e questionamentos feitos pelos estudantes, durante as aulas. O foco da análise foram os registros escritos obtidos durante a aplicação do material histórico-epistemológico e a avaliação. Alguns trechos de gravações das atividades foram utilizados para ilustrar a análise e interpretação de respostas dos estudantes.

A seguir descrevemos os critérios estabelecidos para a análise do questionário inicial e do material histórico-epistemológico.

#### **4.3.4 Base teórica para a metodologia de análise: Material Didático Histórico-Epistemológico**

Ainda inseridos na visão qualitativa, de forma a compreender se o material histórico-epistemológico influenciou na percepção de construção do conhecimento científico de estudantes em direção aos objetivos desta pesquisa, contemplamos alguns elementos que Zanetic (1989, p. 167) aponta como dimensões constitutivas do conhecimento e que nos permite vislumbrar a “A Gravitação como cultura”. Para facilitar a leitura, reproduzimos mais uma vez essas dimensões que compõem o que entendemos por “elementos culturais” da Física:

- As teorias paradigmáticas que se sucedem na história;
  - As bases observacionais e experimentais cada vez mais sofisticadas;
  - Os algoritmos representativos das diferentes teorias;
  - A evolução histórica dessas teorias com permanências e rupturas;
  - A evolução metodológica;
  - As relações de mão dupla com a sociedade;
  - As aplicações tecnológicas, principalmente na atualidade;
  - As influências, nas /das outras áreas do saber;
  - O papel desse conhecimento num país como o Brasil contemporâneo,
- etc.

A nosso ver, resumidamente esses elementos culturais podem ser agrupados em três dimensões:

- A relação entre pressupostos teóricos e a interpretação conferida aos dados observacionais;
- A historicidade da ciência, evidenciada pelo desenvolvimento de diferentes pensadores e cientistas e suas práticas científicas;
- As distintas visões de mundo, de valores e de crenças na construção do conhecimento científico.

No intuito de analisar a forma como os estudantes compreenderam os diferentes aspectos epistemológicos, adotamos essas dimensões constitutivas do conhecimento físico de Zanetic (1989) elencadas acima para nortear a nossa análise.

Desse modo, a respeito da questão desta pesquisa, procurou-se compreender como essas dimensões, que ora denominamos como elementos culturais da Física, emergem das respostas dos estudantes pela mediação do material didático histórico-epistemológico.

Assim, a partir dos critérios de elementos culturais que Zanetic (1989) aponta e tendo-se em pauta os referenciais teóricos que sustentam esta tese, identificamos três grandes dimensões epistemológicas: historicidade da ciência, metodologia científica e o contexto sócio-cultural.

Na dimensão que envolve a historicidade da ciência procuramos identificar como os estudantes percebem o processo de transformação das ideias científicas. Assim, tentamos caracterizar se essa percepção leva em consideração a ciência como uma construção humana, ao reconhecer que existem acertos e desacertos e que a ciência se reelabora a todo o tempo. Neste aspecto, esta dimensão narra uma história da ciência, destacando o caráter provisório do conhecimento científico, enfatizando as limitações dos modelos e as controvérsias científicas. Além disso, nesta dimensão também podem comparecer fatores extracientíficos (por exemplo, as crenças e a imaginação) como parte da construção do conhecimento científico. Em contrapartida, tentamos identificar se o estudante tem uma percepção superficial, caracterizando a ciência como linear e neutra.

Na segunda dimensão de análise, relacionada a metodologia científica, procuramos identificar a ideia do estudante em relação a alguns aspectos da prática científica. Nesta dimensão comparece a relação entre pressupostos teóricos e a interpretação dos dados observacionais.

A concepção de que existe um método científico rígido, engessado em uma sequência linear de passos, é uma deformação apontada vastamente na literatura (GIL - PEREZ et. al. 2001, FORATO 2009). Para averiguarmos com mais profundidade a ideia dos estudantes, procuramos trazer à tona concepções implícitas a respeito da metodologia científica como uma visão:

- empírica linear, considerando o método científico como uma sequência rígida de etapas a serem seguidas rigorosamente;
- empírica anacrônica, ou seja, tem como característica enfatizar os erros e acertos do passado, tomando como critérios as idéias científicas e a tecnologia do presente;
- empírica contextual, destacando que não há um método científico único e infalível, considerando o caráter histórico, reconhecendo os valores, interesses e as concepções prévias do pensador/filósofo na prática científica, considerando a complexa relação entre a teoria e a observação, ao perceber que a observação não é neutra, mas sim direcionada por uma teoria prévia.

Na dimensão que envolve o contexto sócio-cultural procuramos identificar nas respostas dos estudantes as diferentes visões de mundo, os valores e as crenças na construção do conhecimento científico. Aqui comparecem alguns aspectos comuns, como a existência de diferentes explicações para um mesmo fenômeno; a ciência como um trabalho coletivo; e a influência do contexto social na produção do conhecimento científico.

A confluência de todos ou alguns aspectos dessas grandes dimensões epistemológicas da ciência caracteriza o que entendemos como a dimensão cultural da Ciência. Quando observamos a presença de todos ou alguns aspectos que possam estar

contemplados nas respostas dos estudantes, isso caracteriza, a nosso ver, um entendimento, por parte destes, de que Gravitação também é cultura.

Para facilitar a leitura desta parte empírica da tese, resumimos brevemente no Quadro 11 o objetivo pedagógico, assim como os objetivos epistemológicos e conceituais pretendidos na aplicação de nossa proposta didática.

**Quadro 11:** Explicitação dos objetivos pedagógicos pretendidos.

<b>OBJETIVO PEDAGÓGICO</b>	
<b>Apresentar aos estudantes a Gravitação como parte integrante do patrimônio cultural da humanidade, problematizando os diferentes modelos cosmológicos que fizeram parte de sua história.</b>	
<b>Objetivo epistemológico</b>	<p>Compreender o caráter provisório do conhecimento, enfatizando as limitações e controvérsias na construção do conhecimento científico.</p> <p>Compreender a relação entre pressupostos teóricos e a influência da interpretação e concepção prévia do pensador/cientista em relação aos dados observacionais.</p> <p>Compreender a influência do contexto cultural em que o conhecimento científico foi elaborado.</p>
<b>Objetivo Conceitual</b>	Compreender a importância dos diferentes modelos cosmológicos para a formulação da teoria da Gravitação Universal de Newton.

Para análise utilizamos o questionário inicial, as entrevistas realizadas pela pesquisadora com os grupos durante o andamento das aulas, os trabalhos escritos e as avaliações. As entrevistas foram elaboradas, com a intencionalidade de produzir dados a partir da linguagem do próprio estudante, permitindo cruzar algumas respostas, para esclarecer algumas contradições de seus posicionamentos durante o processo. Algumas questões presentes na avaliação e no material didático histórico-epistemológico foram inspiradas na literatura (OKI 2009, FORATO, 2009, DANIEL, 2010).

A metodologia de análise envolveu o conjunto de respostas de todos os estudantes que participaram da pesquisa. Entretanto, por causa da quantidade de dados, selecionamos respostas que foram agrupadas de acordo com semelhanças e

características que contemplavam alguma das dimensões epistemológicas descritas no item 4.3.4.

É importante destacar que selecionamos apenas algumas questões do material didático visto que alguns aspectos epistemológicos que gostaríamos que os estudantes compreendessem se repetem ao longo dos textos.

Destacamos a importância destas questões no sentido que elas fornecem, através do processo histórico, oportunidade aos estudantes discutirem e interpretarem as propostas construídas, tomando consciência do caráter provisório do pensamento científico, aprendendo uma nova forma de encarar a ciência. Ao contrário do que tradicionalmente ocorre nas questões que são formuladas em provas de física do ensino médio, onde a única preocupação parece restrita a fazer os estudantes a enumerarem leis matemáticas (o eterno formulismo da física), sem nenhuma atenção para o contexto histórico em que os conceitos são elaborados. Apresenta-se ao estudante um conjunto de verdades bem encadeadas e espera-se que ele utilize este “conhecimento” de forma prática.

A exemplo, no contexto escolar, muitos professores, divulgam a concepção equivocada de que a observação e a experimentação, realizadas pelos cientistas para coletar dados, permitem de forma direta a elaboração de hipótese que, após confrontadas com os experimentos, levaria a um conhecimento único e verdadeiro.

No entanto, para confirmarmos alguns indícios de uma compreensão mais completa da evolução das teorias, que em alguma medida, contribuíram para a construção da teoria da Gravitação Universal por Newton, retomamos algumas questões na Avaliação final em torno do processo de construção do conhecimento científico abordado nas aulas.

#### **4.4 Análise dos dados**

Nas seções seguintes, apresentamos a análise dos dados obtidos, na sequência em que os dados foram coletados.

#### 4.4.1 O questionário inicial

O questionário inicial (Quadro 12) foi adaptado do trabalho de OKI (2008) e nos permitiu um olhar em relação à visão de ciência por parte dos estudantes. Este instrumento buscou investigar as percepções iniciais do estudante em relação a alguns aspectos da ciência e da prática científica.

Ao todo 62 estudantes responderam ao questionário inicial. Em princípio fizemos a análise dos dados de uma classe, identificada neste trabalho como turma E. Posteriormente fizemos a análise da segunda turma F.

Cada turma possui em média 30 estudantes. Vale ressaltar que a aplicação didática da nossa proposta iniciou-se no dia 23/10/2017, mas não foi possível finalizá-la no mesmo ano. Desse modo a professora pesquisadora retomou a aplicação com as mesmas turmas em fevereiro de 2018. Conseguimos dar continuidade à pesquisa, já que as turmas de 1E e 1F ambas do 1º no ano de 2017, continuaram com a professora no ano de 2018. Atualmente são as turmas de segundo ano 2 E (ensino médio integrado ao técnico do Meio Ambiente) e 2F do ensino médio.

As aulas da turma E em 2017 eram duplas e aconteciam na segunda-feira. As aulas da turma F estavam distribuídas na segunda-feira (1 aula) e quinta-feira (1 aula). Ao total eram duas aulas por semana de 50 minutos em cada turma. Em 2018, as duas turmas têm suas aulas distribuídas em dois dias da semana. A aplicação da proposta foi encerrada com a avaliação final no dia 27/03/2018.

Em relação às questões agruparam-se as afirmações das justificativas apresentadas pelos estudantes. Para facilitar a leitura da análise dos dados, apresentamos na sequência a interpretação das respostas dos estudantes, às questões do questionário inicial.

**Quadro 12:** Questionário Inicial

<b>Aula 0</b>	
<b>Objetivo:</b> O objetivo do questionário inicial foi avaliar as concepções dos estudantes com base nas visões aceitas pela historiografia contemporânea da ciência, tais como: o conhecimento científico tem natureza imaginativa, criativa, hipotética. A observação por si mesma não é fonte de conhecimento; a ciência e as visões do cientista não são neutras e descontextualizadas. (SOUZA et al, 2004, p.129). O questionário foi adaptado do trabalho de OKI et al 2008, p,72.	
<b>Questões</b>	<b>Dimensão de Análise:</b>
1-Como os conhecimentos científicos têm origem?	Discutir a diferença entre os conhecimentos científicos e outros saberes não científicos ou saberes técnicos,
2- Qual a sua concepção de ciência?	Identificar a concepção de ciência do estudante
3- O desenvolvimento do conhecimento científico sempre requer experimentos? Justifique.	Discutir a experimentação na produção do conhecimento científico.  Identificar se existe a percepção por parte dos estudantes de que as observações são carregadas de pressupostos teóricos
<b>Atividades desenvolvidas e estratégias</b>	
A pesquisadora distribuiu o termo de consentimento ( <b>Anexo 2</b> ) para os estudantes, além de apresentar a pesquisa e seus objetivos. Em seguida distribuiu o questionário inicial ( <b>Anexo2</b> ), que foi respondido pelos estudantes e devolvido para a pesquisadora.	
<b>Tempo didático:</b> 50 min (cada aula)	

Os estudantes foram identificados por uma letra que corresponde à sua respectiva turma e um número (Estudante E1, F1, etc).

A partir do Questionário Inicial foram coletados os primeiros dados desta pesquisa. Este questionário buscou investigar as percepções iniciais dos estudantes sobre alguns aspectos do conhecimento científico como: origem do conhecimento científico e concepção de ciência. Apresentamos exemplos de respostas nos Quadros a seguir:

**Quadro 13:** Exemplos de Respostas: **Como os conhecimentos científicos têm origem?**

Estudantes	Exemplos de Respostas
E16	Através de pesquisas, estudos, testes e etc sobre um determinado assunto, onde a <b>“curiosidade”</b> humana procura entender os fenômenos do universo.
E17	Os conhecimentos científicos tem origem há muitos anos atrás com cientistas querendo analisar, estudar vários aspectos como os conceitos de ver/analisar, depois criar uma hipótese para aquilo que você viu.
E22	Creio que estes surgiram da <b>curiosidade</b> e a necessidade de conhecer a vida, no sentido do porque das coisas serem como são e é.
E23	As pessoas têm ideias sobre alguma coisa e criam uma hipótese com experimentos, quanto mais provas e pessoas apoiando a ideia, a hipótese evolui no meio científico até se tornar um conhecimento científico.
E2	A partir de hipóteses que dão origem a testes e finalmente a criação de teorias. Mas existir uma teoria não significa ser uma verdade absoluta.
F3	Eles têm sua origem com a <b>curiosidade</b> do homem. Junto de conhecimento comum, o homem começa a formar <b>hipótese</b> para explicar algo. Talvez não explicado antes ou questionar alguma explicação.
F39	Existem estudiosos que tem uma <b>“curiosidade”</b> , eles estudam e fazem experimentos para saber se a teoria deles esta correta. Estando correta, vira um conhecimento científico.
F4	A partir da concepção de uma hipótese criada pelo homem. Fazendo com que hipóteses, teorias, experimentos sejam desenvolvidas a um longo período de tempo, até chegarem aos resultados.
F30	A origem dos conhecimentos vem das teorias, baseadas em hipóteses, baseadas em ideias, baseadas na observação da natureza e da <b>curiosidade</b> que envolve o ser humano. A curiosidade impulsiona a <b>imaginação</b> que leva ao desenvolvimento dos conhecimentos científicos.
F32	Normalmente, com base nas pesquisas e observação dos fenômenos pelo método científico. Essas pesquisas são comprovadas e revisadas para que a explicação desses fenômenos seja coerente com a realidade

**Quadro 14:** Exemplos de Respostas: **Qual a sua concepção de ciência?**

<b>Exemplos de Respostas</b>	
	A ciência é uma disciplina
<b>E31</b>	Ciência é um ramo do conhecimento destinado às pesquisas sobre determinado assunto que, de certo modo, esta inserida no nosso cotidiano.
<b>E6</b>	A ciência é o estudo mais aprofundado de alguma área. Exemplo: química, física, biologia, entre outras.
<b>E37</b>	Ciência é um ramo no qual parte da observação e comprovação de algo se baseando em estudos e pesquisas sobre tal. Temos as ciências exatas, humanas e naturais, nas quais todas partem de um mesmo objetivo: a comprovação e melhor conhecimento do assunto
<b>F17</b>	Ciência é uma disciplina humana que tem a função de explicar a existência, humana e de todo resto. É de ser capaz de entender, modificar, aprimorar a natureza, criando conceitos e leis para a psique e para a natureza.
<b>F2</b>	Ciência é uma matéria que usa os acontecimentos científicos adquiridos com o tempo para criar coisas que possam melhorar a qualidade de vida, de pessoas, facilitar mais descobertas científicas, possibilitar a descoberta de coisas que antes seriam impossíveis, etc.
<b>F5</b>	A ciência é um conjunto de conceitos sobre tudo dos quais a partir de questionamentos e experimentos, muitas vezes é comprovada.
<b>F4</b>	Algo que pode ser estudado com um método, ou seja, uma forma de estudar algo que pode ser experimentado e testado. Sempre dará um mesmo resultado se for feito da mesma forma. Por exemplo, um elemento A + um elemento B na quantidade X sempre dará um elemento C e não um D ou F. Ciência é algo que pode ser estudado com métodos já testados e comprovados.

**Quadro 15:** Exemplos de Respostas: Existe um método científico?

<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>E16</b>	Sim. O método científico é composto respectivamente, por: Observação, hipótese, experimento e teoria.
<b>E10</b>	“Através de um método científico e a observação de determinado fenômeno. Os conhecimentos científicos geralmente são observações que logo se tornam hipóteses e mais tarde podem ter comprovações.”
<b>E18</b>	Existem, pois para se explicar e comprovar qualquer lei ou teoria tem que se ter um método científico.
<b>F22</b>	Sim, são aqueles usados para testar e comprovar suas ideias, mais que a ciência seja uma constante.
<b>F1</b>	Sim não há como descobrir algo sem um método científico, uma lei ou algo para um método científico, sem pesquisar antes, formular hipóteses, fazer tentativas até que seu descobrimento vire uma teoria.
<b>F3</b>	Não, o cientista pode desenvolver uma tese sem seguir a risca um método científico.
<b>F40</b>	Sim, para que haja um padrão nas pesquisas realizadas. Porém não é o único método a ser seguido no desenvolvimento das pesquisas.

**Quadro 16:** Exemplos de Respostas: Na sua opinião, o que é um experimento? O desenvolvimento do conhecimento científico sempre requer experimentos? Justifique.

<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>E16</b>	Para mim, experimento é colocar na prática uma hipótese. Com o experimento é possível concluir que a hipótese estava errada ou adicionar mais informações para que possa chegar em uma conclusão.
<b>E18</b>	Os experimentos são avaliações, provas, etc. Na ciência isso se torna necessário justamente para provar algo pensado anteriormente.
<b>E22</b>	O experimento é a prática de sua hipótese. Sim, pois você precisa de uma comprovação de sua hipótese.
<b>F1</b>	O experimento é a realização de uma teoria criada ou refutada por um cientista, e para que se chegue a um resultado/conclusão, é preciso passar por estes teste, pois eles serão o meio em que você pode comprovar o seu estudo.
<b>F3</b>	Sim, existe. Seria observação, hipótese, experimento e conclusão.
<b>F40</b>	Não, o experimento é um dos métodos disponíveis para a confecção de pesquisas e o experimento permite testar a teoria com base na observação da realidade.

Na visão tradicional, o conhecimento físico é visto de forma independente das relações sociais, somente baseado em evidências observacionais e experimentais.

Conforme observamos alguns estudantes destacaram o papel essencial das hipóteses, como norteadora da investigação e da elaboração das teorias. Na resposta do estudante E22 (Quadro 16) está implícita o reconhecimento da dependência questionamento/teoria, mas não podemos inferir que ele tivesse consciência de que os conhecimentos prévios dos cientistas influenciam suas construções teóricas.

Apenas um estudante E10 (Quadro 15) justificou explicitamente a origem do conhecimento científico, com a existência de um método científico, destacando a relação entre observação e hipótese. Transcrevemos a resposta do estudante:

E10: “Através de um método científico e a observação de determinado fenômeno. Os conhecimentos científicos geralmente são observações que logo tornam-se hipóteses e mais tarde podem ter comprovações.”

Ele destaca um ponto importante na construção de uma visão mais adequada da ciência. Este estudante explicita o papel da hipótese e da experimentação na construção do conhecimento científico. Inicialmente foi possível identificar nas respostas de alguns estudantes a concepção de que existe um método científico que começa na observação, não levando em conta que a observação depende dos conhecimentos prévios e da bagagem teórica do cientista.

Neste momento inicial encontramos a concepção de que o conhecimento científico também é fruto da imaginação, curiosidade e criatividade humana, como podemos observar nas respostas dos estudantes E16, E22, F3, F30 e F39 (Quadro 13).

#### **4.4.1.1 Análise do material histórico-epistemológico: Textos Aula a Aula**

Nossa análise das respostas dos estudantes referente aos Textos de 1 a 7 gerou muitos dados. Como foco de nossa investigação, para que fosse possível uma análise mais criteriosa, elegemos algumas questões da avaliação final e trechos de entrevistas que nos pareceram fundamentais para avaliar se a interação dos estudantes com o material histórico-epistemológico (Textos) possibilitou que eles compreendessem a Física como cultura.

Essa investigação pretendeu responder à questão de nossa pesquisa: *O enfoque histórico-epistemológico da Física pode ser um caminho para problematizar a ideia de que Gravitação também é cultura no ensino médio?* Como foi visto anteriormente na metodologia utilizada para a construção do material didático histórico – epistemológico no Capítulo 3, os textos foram construídos para contemplar diversas dimensões histórico-epistemológicas do conhecimento físico.

A discussão a seguir obedeceu ao planejamento das aulas que foi descrito no capítulo 3 onde detalhamos os três momentos pedagógicos que nortearam a aplicação didática dos Textos reproduzidos no ANEXO I.

Procuramos atentar para o que Forato (2009, p. 122) nos alerta quanto aos obstáculos quando lidamos com conteúdo histórico-epistemológico. Dentre os obstáculos que aparecem neste nível de escolaridade, a autora cita:

- As diferenças entre a concepção de ciência em distintas épocas e nas diferentes ciências;
- Conteúdos de história da ciência de difícil compreensão na atualidade;
- Dificuldade de tratar diacronicamente pensadores de épocas e culturas diferentes das atuais;
- Falta de pré-requisito dos estudantes em relação ao conhecimento científico, histórico, epistemológico e filosófico;
- Possível concepção prévia dos estudantes e professores sobrevalorizando a capacidade da ciência atual em resolver todos os problemas

Como o objetivo deste trabalho é analisar a relação entre os Textos e os estudantes optamos que eles fizessem a leitura do texto, após a problematização inicial da professora, antes de qualquer discussão teórica. Tal procedimento teve como intenção averiguar previamente se o enfoque histórico-epistemológico presente nos Textos favoreceria um diálogo crítico. Em continuidade, os estudantes se dividiram em pequenos grupos e a professora solicitava que cada grupo lesse um pequeno trecho do texto.

Durante a atividade em grupo, a professora circulava entre os grupos orientando e discutindo com os estudantes seus apontamentos e dúvidas. Neste primeiro momento, procuramos ouvir as discussões e, nesse processo, surgiram concepções equivocadas. Ao invés de simplesmente responder e explicar, a professora utilizava os argumentos dos estudantes para tentar gerar um posicionamento mais crítico por parte deles.

Apresentamos a seguir a análise das aulas ímpares e das avaliações de nossa proposta didática, seguindo a ordem cronológica em que ocorreram. As aulas pares estão no Anexo II (p, 279). As questões das avaliações I e II estão no Anexo III (p. 287).

Como foco de nossa investigação, para que pudesse ser possível uma análise criteriosa, elegemos algumas questões que contemplam os diferentes objetivos epistemológicos e conceituais que nos pareceram fundamentais para verificar, sobretudo, os níveis de compreensão e elaboração novas dos estudantes no meio do processo (Avaliação I) e ao final (Avaliação II), identificando da análise das respostas dos estudantes, se os Textos os levaram a entender a Gravitação como um conhecimento fruto de um longo processo que levou em conta os contextos histórico, social e cultural em que foi produzido.

As questões que elegemos para compor a Avaliação II procuraram resgatar a história da Gravitação que foi apresentada ao longo do curso. Destacarei os relatos mais significativos.

Quadro 17

Aulas 1: 1º SEMANA (23/10/2017 a 27/10/2017)	
Texto	Objetivo Epistemológico
Texto 1: A Saga Inicial : Um pouco de história e filosofia	Discutir a relação entre a observação e a teoria
Relato das Aulas	
<p>Na <b>primeira aula</b> apresentamos o projeto com maiores detalhes, tentando ressaltar a importância da visão histórico-epistemológica na compreensão dos conceitos científicos e, principalmente, usar este conhecimento para entender o mundo contemporâneo. Explicamos quais seriam as atividades a serem desenvolvidas até o final do semestre.</p> <p>Percebemos uma reação favorável dos estudantes e ao mesmo tempo, certo estranhamento. O tema do <b>texto 1</b> tratava das primeiras tentativas de descrição do universo. Nossa estratégia em todas as aulas foi direcionada pelos três momentos pedagógicos detalhados nos <b>Quadros que constam nas últimas páginas do capítulo 3</b> (pp. 143 -155).</p> <p>Na <b>segunda aula</b>, nossa intenção foi introduzir o pensamento dos primeiros filósofos gregos sobre a natureza da matéria. A questão problematizadora inicial foi a seguinte: <i>Do que é feito o mundo?</i> Como já dissemos anteriormente, após a problematização inicial, foi realizada a leitura em voz alta. A cada grupo foi solicitada a leitura de um pequeno trecho do texto. Após a leitura, os estudantes retomaram a discussão em pequenos grupos, visando uma interação entre pares em que a discussão é mais aberta e os estudantes podem expor com mais liberdade suas ideias. Os estudantes ficaram reunidos até o final da aula.</p>	

Quadro 18

Aula 3: 2º SEMANA (30/10/2017 a 03/11/2017)	
Texto	Objetivo Epistemológico
Texto 1: A Saga Inicial : Um pouco de história e filosofia	Discutir a relação entre a observação e a Teoria
Relato das Aulas	
<p>Na <b>terceira aula</b> foi retomada a leitura do <b>texto 1</b> em pequenos grupos. A professora reiniciou as discussões com os grupos. Recolhidos o levantamento das questões e dúvidas dos estudantes, percebemos que ainda alguns estudantes entenderam que os filósofos elaboravam suas hipóteses a partir de uma concepção pessoal ou simples opinião. Neste momento a professora esclarece que os filósofos buscavam fundamentar suas hipóteses a partir de um pressuposto teórico e que não são meras opiniões pessoais. Os estudantes participaram levantando mais algumas questões e a professora pesquisadora solicitou que respondessem a mesma questão em grupo por escrito: <i>Por que os primeiros filósofos chegavam a diferentes conclusões para explicar os fenômenos da natureza?</i> Transcrevemos a seguir algumas respostas dos estudantes.</p>	

**Quadro 19:** Exemplo de respostas para a Questão: Por que os primeiros filósofos chegavam a diferentes conclusões para explicar os fenômenos da natureza?

<b>- Turmas E e F</b>	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>E1</b>	Os filósofos não possuíam tecnologia para comprovar ou discordar de suas ideias, então muito deles <b>possuíam diferentes ideias por suas diferentes visões.</b>
<b>E34</b>	Cada um seguia uma linha de <b>pensamento diferente</b> , portanto, chegavam a diferentes métodos, diferentes resultados, <b>portanto, diferentes conclusões e visões sobre os fenômenos da natureza.</b>
<b>E25</b>	As conclusões filosóficas <b>se davam a partir da época em que eles viviam</b> e de acordo com o método do experimento realizado por tal. Muitas vezes os recursos utilizados para os experimentos eram escassos, fazendo com que os resultados se dessem apenas pela observação da natureza.
<b>E11</b>	Os primeiros filósofos chegavam a diferentes conclusões, pois havia <b>suas próprias individualidades, suas vivências e suas ideias de universo.</b> Apesar de algumas discordâncias todos se “ajudavam”, teses novas foram criadas com base nas outras e cada um expressava <b>suas ideias de seu modo.</b>
<b>F29</b>	As diferentes teorias e explicações para um mesmo acontecimento se dá pelo fato de <b>visões distintas</b> acerca do assunto. Havia também necessidades específicas para cada teórico, que partindo delas desenvolviam <b>suas ideias e trabalhavam com bases distintas.</b> Em suma, pode-se dizer que as diferentes visões e necessidades usadas como ponto de partida se desenvolveram de acordo com metodologias particulares que certamente se deferiam e refletiam em uma gama de variadas teorias para explicar um mesmo fenômeno.
<b>F17</b>	Os filósofos tinham uma interpretação.... era uma transição do <b>aspecto mítico para o racional...</b>
<b>F35</b>	Acho que o texto... que o <b>avanço da tecnologia tem influência na inteligência</b> , na capacidade ...Eles achavam que a Terra era plana. Se olhar pela linha de horizonte, você vai pensar que a Terra é plana também..eles começaram a perceber que a Terra e o Universo são coisas muito mais complexas. Então pode sim, a Terra ser esférica, ter movimento e não ser o centro do universo. Foi assim que começaram a ter ideias. Um exemplo é Sirius... é uma constelação que se mexe. A gente não consegue ver todo o ano.
<b>F30</b>	<b>Ao longo dos tempos podemos perceber que há varias explicações para um único fenômeno</b> , como é o caso dos fenômenos da natureza... e as vezes nos perguntamos porque isso acontece... os principais fatores são <b>a época do estudo, os pensamentos estabelecidos na época....</b> além de uma área de estudo muito ampla, na qual pode-se <b>formular várias hipóteses.... que podem divergir ou não de outras....</b>
<b>F37</b>	Por que os primeiros filósofos tinham <b>diferentes mecanismos de pesquisa que variava também com as crenças</b> de cada um. Por exemplo, <b>os eventos naturais ser causados simplesmente por criação de deuses</b> , sem uma fundamentação teórica. <b>Também pode depender da cultura do local em que eles viviam como suas crenças e ensinamentos.</b> Há muitas incertezas sobre assuntos desse tipo, como por exemplo, o que realmente há no centro da Terra, Júlio Verne defendia que lá havia animais pré-históricos, ou a teoria do evolucionismo seleção natural que Charles Darwin pegava.

Quadro 20

### ANÁLISE DAS FALAS DOS ESTUDANTES

Embora não muito frequente, notamos que o estudante **F 17** respondeu de forma mais elaborada. Podemos sem dúvida, interpretar que o estudante compreendeu apesar dele não possuir o conceito completo de que uma observação não é neutra, também está implícito em sua resposta que não se trata apenas de mera opinião pessoal.

Na aula 3, a professora buscou novamente enfatizar nas duas turmas, que os filósofos formulavam suas teorias de acordo com suas correntes filosóficas de pensamento. E, portanto, eles buscavam uma explicação racional para elaborar suas teorias. Desse modo, procuramos explicitar o melhor possível, os obstáculos de natureza científica e epistemológica.

Vejamos como exemplo a fala do estudante **F35**. Novamente comparece o que Forato (2009) nos adverte como a sobrevalorização da tecnologia atual em solucionar todas as questões e problemas.

Mas julgamos que o texto instigou os estudantes a refletirem sobre como o conhecimento é construído. Percebe-se na resposta dos estudantes **F30** e **F37** uma percepção inicial da historicidade do conhecimento científico. Em alguns trechos acima que destacamos está implícito que o estudante percebeu a importância do contexto cultural e sua influência na construção do conhecimento científico.

Quadro 21

### Aula 5: 3° SEMANA (06/11/2017 a 10/11/2017)

Texto 2	Objetivo Epistemológico
Por que as coisas pesadas caem? Parte II	Compreender diferentes sistemas cosmológicos e artifícios matemáticos na tentativa de “salvar as aparências”

### Relato das Aulas

Iniciamos a aula com a seguinte questão problematizadora: *A Terra está em movimento ou está parada?* Muitos estudantes se posicionaram afirmando que pelos nossos sentidos não é possível observar o movimento da Terra. Transcrevo aqui um trecho da fala do estudante E4: *“Para mim, mesmo que a gente saiba que a Terra gira em torno do Sol, não dá para perceber que nem Aristóteles pensava”*. A professora então fez uma provocação questionando: *Tem certeza que pelos sentidos não podemos provar que a Terra está em movimento?* Neste momento, vale destacar a colocação do estudante F 6 *“A gente não vê a Terra se mover; pelo contrário(...) se a gente olha para cima, vemos o Sol se mover”*. Em seguida, os estudantes se reuniram em pequenos grupos para a leitura. Após a leitura, a professora circulava pela sala observando e registrando as discussões dos estudantes. Nesta aula os estudantes discutiram o modelo aristotélico de Universo, abordando as noções de movimento natural e violento. A professora esclareceu para os estudantes que Aristóteles explicita a coincidência entre o centro do Universo, sendo esta uma concepção idealizada, e o da Terra e introduz o lugar natural dos graves, que pode ser considerada uma “primeira proposta gravitacional”.

Observação: Alertamos o leitor dessa tese que já havíamos abordado o modelo Copernicano quando os estudantes responderam a questão: *Faça um breve resumo das causas principais que tornaram o paradigma aristotélico-ptolomaico bem aceito em sua época.*

**Quadro 22:** Exemplos de respostas para a Questão 1 (Avaliação I): *Faça um breve resumo das causas principais que tornaram o paradigma aristotélico-ptolomaico bem aceito em sua época*

<b>EXEMPLOS DE RESPOSTAS - TURMA E e F</b>	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>F17</b>	Pois historicamente há um grande conflito entre o geocentrismo e o heliocentrismo, visto que esse primeiro também era a base de toda uma filosofia e mitologia ( e religião) muito forte na sociedade da época.
<b>F19</b>	Para Aristóteles e Ptolomeu, a Terra era o centro do Universo já que eles buscavam defender as aparências, porém ocorria fenômenos que eram inexplicáveis para tal modo como o movimento retrógrado de Marte.
<b>F26</b>	Naquela época, havia dois modelos do universo( o que hoje chamamos de sistema solar) para a explicação de fenômenos. O modelo aristotélico-ptolomaico era geocentrista enquanto de Copérnico era heliocentrista, assim, partiam de <b>premissas diferentes para a explicação dos fenômenos observados e , portanto, chegam em explicações diferentes.</b>
<b>F15</b>	Era reconhecido como mais evoluído, no que diz respeito á uma maior disponibilidade de detalhes e justificativas para os fenômenos observados(e que também condizia à prioridade de “salvar as aparências”), do que o <b>modelo aristotélico</b> , mas mesmo assim <b>não rompia brutalmente com as ideias já instituídas</b> e concordava com a <b>visão mitológica da Terra e universo como frutos da perfeição divina</b> , se tornando assim um modelo bem aceito e difundido
<b>F9</b>	O paradigma aristotélico-ptolomaico explicava, as fases da Lua, e era usado por navegadores para se localizar usando as estrelas, ela também explicava a queda dos graves e mantinha a Terra no centro do Universo, como um corpo celeste perfeito e diferente dos demais.
<b>E26</b>	Devido a análise de Aristóteles ser apenas por observação e aparentemente os planetas e o Sol estar fazendo movimento circular ao redor da Terra, fez com que ele imaginasse que a Terra era o centro do Universo e os demais astros a rodeavam fazendo movimentos circulares. E como parece que a Terra não se move ele achou que não havia movimento da Terra. Sua Teoria foi bem aceita na época, porque não <b>havia tecnologia</b> para provar que ele estava errado e naquela época a <b>doutrina vigente era de que a Terra era diferente dos demais corpos</b> celestes, e seus argumentos condiziam com as observações da maioria das pessoas, pois realmente não percebemos a Terra em movimento e parece que os astros circulam a Terra.
<b>E17</b>	Por que o modelo aristotélico-ptolomaico adotava o geocentrismo, em que a movimentação da Terra causaria destruição, devido ao efeito da força centrífuga. Já o Copérnico dizia que a movimentação da Terra é <b>algo natural</b> portanto não destruirá , ele acreditava na força da natureza e a Terra é só mais um planeta, e não se compara com o universo todo. <b>Então podemos ver que a ciência é algo mutável</b> , ele muda muito, cada um com um conhecimento diferente e <b>lá muitas controvérsias</b> como Aristóteles- Ptolomeu e Copérnico.
<b>E7</b>	Uma das causas é que ao adotarem o modelo geocêntrico, já estariam favorecendo a Igreja, porque Deus é o centro de tudo, logo, uma criação dele seria também. Outra causa é a reprodução do movimento dos corpos celestes, que era uma interpretação daquilo que todos viam. E esse paradigma não contrariava o que as pessoas diziam: <b>não sentimos a Terra se mover, o que parece mesmo é que o Sol e a Lua giram em torno dela.</b>

Quadro 23

### ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS ESTUDANTES

A razão mais destacada por muitos estudantes foi que o pensamento aristotélico é reforçado, pois não contraria a observação do senso comum. Percebe-se essa ideia na resposta da maioria dos estudantes. Dois estudantes referiam-se às razões místicas ou religiosas. No entanto, estes estudantes olvidam que os gregos foram os primeiros a fornecer explicações que instigavam os homens a séculos, sem a inclusão de deuses. Os estudantes também mencionaram que a duração do dia podia ser explicada pelo movimento do Sol ao redor da Terra. O estudante **F19** aborda o problema da retrogradação do Planeta como uma dificuldade no sistema geocêntrico, mas não menciona que Ptolomeu forneceu uma explicação satisfatória para o movimento retrógrado dos planetas no modelo geocêntrico.

Os estudantes **F26** e **F15** retomam a relação entre pressupostos teóricos e observação em suas respostas. Deste modo, percebemos que os estudantes começam a desenvolver uma percepção do que é Ciência. Em suas respostas estavam contemplados aspectos como a influência das crenças religiosas, do contexto social na prática científica. Neste aspecto podemos inferir que algo do aspecto cultural está contemplado nas respostas dos estudantes.

Quadro 24

### Aula 7: 4º SEMANA (13/11/2017 a 17/11/2017)

Texto 3	Objetivo Epistemológico
Preparando o terreno....	Apresentar a teoria heliocêntrica de Copérnico e suas consequências do ponto de vista cultural.

### Relato das Aulas

Na aula foram discutidos os problemas científicos, filósofos e religiosos apresentados pela teoria de Copérnico, e por que esta teoria suscitava a construção de uma nova física. A questão problematizadora inicial do encontro foi: *A Terra está em movimento ou parada? Conseguimos provar pelos sentidos que a Terra está em movimento?* Antes de qualquer discussão, propusemos a leitura do texto. Após a leitura formulamos a seguinte questão: *O que levou Copérnico a imaginar um sistema diferente para os fenômenos observados?* A partir deste questionamento, os estudantes se reuniram em grupo para debater e foi solicitado que respondessem por escrito as questões das páginas **250** e **255** do material didático histórico-epistemológico. A socialização das respostas dos estudantes para a sala ocorreu somente na aula 8. Transcrevemos a seguir algumas respostas dos estudantes.

**Quadro 25:** Exemplos de respostas para a Questão: O que levou Copérnico a imaginar um sistema diferente como explicação para os fenômenos observados? Justifique.

TURMA E	
Estudantes	Exemplos de Respostas
E27	Copérnico desenvolveu o método do heliocentrismo, incentivando outros filósofos a acreditar em sua ideia, assim, esquecendo o modelo aristotélico-ptolomaico. Copérnico havia apresentado essa ideia, mas teve que fazer algumas mudanças, para que fosse aceito. <b>Utilizando algumas ideias do aristotelismo</b> , mesmo assim houve uma pessoas que não acreditaram em suas ideias. Mesmo assim <b>Copérnico conseguiu aperfeiçoar o seu modelo.</b>
E11	Copérnico <b>viveu na época do Renascimento</b> , onde as formas de estudar e pensar estavam mudando, <b>o que o fez imaginar um sistema diferente foi o fato dessas mudanças.</b> Ele acreditava que a Terra não era o centro, mas sim o Sol era, e que os outros astros giravam em torno do mesmo. Ele também contestava <b>a ideia dos movimentos errantes, dizendo que era a Terra que tinha esses movimentos</b> , que esse movimento era suficiente para explicar a “anormalidades” dos movimentos.
E18	1-Uma das possíveis explicações é que pela explicação de Aristóteles <b>não era possível explicar o movimento de Marte</b> (um movimento de ida e volta). 2- As ideias e observações contrárias ao modelo de Aristóteles, o movimento dos graves, a influencia da Igreja e os <b>pensamentos e ideias da época</b> ; 3- Observação do movimento do Sol pelo ponto de vista da Terra, seu movimento, que no caso é o movimento dos planetas em torno dele e 4- Pois os observadores tinham concepções e ideias divergentes, influenciados por diferentes fatores; como a Igreja, a terra natal, a educação, etc.
E17	O que levou Copérnico a imaginar um sistema diferente foi que ele observou que o <b>modelo aristotélico-ptolomaico estava errado porque o movimento de rotação da Terra é natural</b> por isso não destruiria a Terra (como dizia Aristóteles) e por meio desse fato ele propôs o modelo heliocêntrico em que a Terra não é o centro do Universo e ela não está parada, ela que gira em torno do Sol. E é claro que essas ideias não foram muito aceitas porque ia contra os pensamentos, <b>da Igreja</b> em que dizia que a Terra é mutável e perfeita e está no centro do Universo.
E24	O Copérnico estudava a astronomia geocêntrica, pois trabalhava na elaboração de mapas celestes para a localização no mar. Nesses estudos ele <b>começou a se questionar</b> e a se opor ao modelo geocêntrico. Ele considerava que a Terra estava em movimento e em 1510 apresentou seis sete axiomas revolucionários. Ele fez vários estudos, mas a sua teoria não foi bem aceita na época.
E7	<b>A partir dos questionamentos</b> estabelecidos pelos estudiosos. Na época, o Renascimento estava em seu auge e trouxe muitas novas maneiras de se ver a natureza. Copérnico estudava astronomia geocêntrica trabalhava com mapas celestes, ou seja, foi “muito fácil” <b>desafiar a velha Teoria do geocentrismo</b> que tinha bases não muito bem estudadas, por ser mais uma <b>teoria de observação e interpretação.</b>

Quadro 26

### ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS ESTUDANTES

Nessa questão, percebemos nas respostas dos estudantes motivações culturais como uma justificativa para Nicolau Copérnico propor um novo modelo. Um exemplo é a resposta do estudante E11: *“Copérnico viveu na época do Renascimento, onde as formas de estudar e pensar estavam mudando, o que o fez imaginar um sistema diferente foi o fato dessas mudanças e do questionamento acerca de determinadas observações(...)*. Não encontramos respostas que expressam o raciocínio de que, como não são observadas paralaxes, a Terra deveria estar imóvel. No entanto, discutimos esse aspecto brevemente durante as aulas. Aspectos como a influência religiosa contra o modelo copernicano foi citado pelos estudantes, como podemos observar na resposta do estudante E17. Além disso esse estudante também respondeu que Copérnico argumentou contra o modelo aristotélico, afirmando que o **movimento da Terra é natural e portanto não destruiria a Terra**. Assim, podemos inferir que está implícito que o estudante se refere ao fato do sistema terrestre se mover em conjunto, ou seja, quaisquer objetos na superfície da Terra acompanham o seu movimento. Notamos que o estudante compreendeu que Copérnico procurou explicar a rotação da Terra em termos da doutrina Aristotélica do movimento dos elementos, usando os princípios da física aristotélica a seu favor, pois Copérnico não chega a assumir um rompimento com a Física Aristotélica, sua teoria astronômica necessita de uma nova Física.

Copérnico compartilhava das ideias de perfeição dos gregos. Assim, percebeu no modelo de Aristarco uma possibilidade de voltar aos movimentos circulares perfeitos em torno de um corpo central. Além disso, percebeu que, com base nele, poderia explicar algumas de suas observações astronômicas sem precisar recorrer ao modelo ptolomaico. Algo ausente nas respostas.

Nesta questão, verificamos que o estudante E18 citou como motivação as irregularidades das órbitas dos planetas, o que não está correto, pois este foi um problema que Copérnico resolveu com seu sistema bem diferente da “explicação” dos aristotélicos com seu modelo de epiciclos. Podemos citar como motivação o fracasso técnico do sistema ptolomaico como um pré-requisito para a rejeição deste paradigma por parte de Copérnico e para sua busca de um substituto. Além disso, fatores externos como a busca de Copérnico pela simplicidade, harmonia e racionalidade na descrição do mundo físico, não foram mencionadas nas respostas.

No entanto observamos algumas mudanças em suas posturas, principalmente acerca da prática científica e do próprio desenvolvimento da ciência. Por exemplo, algumas ideias que os estudantes destacaram como motivação para Copérnico introduzir várias inovações revolucionárias em diversos momentos durante a discussão contemplam características de dois tipos: internas ao campo da própria ciência e externas, que dizem respeito ao clima intelectual do século XVI.

Com isso, eles demonstraram que compreenderam parcialmente que as ideias aceitas são um produto de muitos estudos que deram certo e outros que fracassaram, porém, ambos fazem parte da construção do conhecimento científico.

**Quadro 27:** Exemplos de respostas para a Questão: O que levou Copérnico a imaginar um sistema diferente como explicação para os fenômenos observados? Justifique

TURMA F	
Estudantes	Exemplos de Respostas
F8	Na época, com o avanço da tecnologia e das navegações, Copérnico percebeu que o paradigma <b>geocêntrico era mais um mecanismo de solução de problemas práticos</b> , e não um modelo para avançar nos estudos da astronomia, com isso Nicolau iniciou sua revolução Copernicana e <b>logo teve muitos apoiadores</b> .
F16	Copérnico, além de estudar a astronomia geocêntrica viveu na época do Renascimento, onde se buscava a questionar aquilo que já se parecia concreto e absoluto. Logo, ele passou a questionar o modelo geocêntrico da época.
F3	Copérnico viveu na época do Renascimento, que foi marcado por grandes transformações nas artes, na economia e nas técnicas, além da astronomia estar desempenhando um papel maior na vida das pessoas. <b>Ele começou a estudar a astronomia geocêntrica, pois trabalhava na criação de mapas celestes que tinham como objetivo orientar a localização no mar.</b> Durante esses estudos, ele percebeu que o modelo geocêntrico não explicava e não fazia sentido com alguns fenômenos observados e com base nisso <b>imaginou um modelo diferente, o modelo heliocêntrico</b> .
F26	Copérnico observou fenômenos que não possuíam explicações segundo o modelo geocêntrico, assim, para explicar esses fenômenos, como o <b>movimento retrógrado de Marte</b> , foi preciso <b>imaginar</b> um novo sistema, com novas premissas que conseguisse explicar tais fenômenos.
F30	<b>Copérnico não vendo sentido nas explicações dadas</b> pelos geocentristas para explicar o sistema geocêntrico <b>criou hipóteses com bases nas teorias geocêntricas para explicar uma visão onde a Terra não é o centro do Universo</b> , com a utilização de <b>ideias de rotação e translação da Terra</b> . Em relação ao questionamento dele as explicações geocêntricas, ele questiona o comportamento dos graves que a Terra se destruiria caso existisse uma rotação da Terra. Copérnico explica que a Terra não se destruiria em pedaços porque os referenciais utilizados são artificiais e a Terra faria esse movimento naturalmente.
F38	<b>Copérnico imaginou</b> e consumou um sistema diferente para a explicação dos fenômenos, o que pode ter sido produto de diversos fatores: (1) viveu durante o renascimento, período de avanço nas ciências relacionado a astronomia(2) Os modelos anteriores eram insuficientes (3) exercia um ofício relacionado a astronomia (4) buscava uma explicação para os fenômenos observados.

## Quadro 28

**ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS ESTUDANTES TURMA F**

Dessas respostas, observamos que o estudante **F8** se equivocou ao citar que Copérnico “teve muitos apoiadores”. Percebemos que o estudante não compreendeu que o modelo aristotélico-ptolomaico era muito eficiente e articulado. O estudante **F3** compreendeu que Copérnico adotou os mesmos princípios do modelo aristotélico-ptolomaico, mas rompe com a tradição, oferecendo um novo sistema de mundo. Em contrapartida, o estudante **F30** afirmou que Copérnico ainda tinha como base o modelo aristotélico-ptolomaico. Além disso, podemos inferir de sua resposta que o estudante percebeu como Copérnico argumentou contra as objeções apresentadas pelos aristotélicos. De acordo com a doutrina aristotélica, se a Terra se movesse quem atirasse uma pedra para a cima não a veria cair no ponto inicial, e sim mais para traz, já que o planeta teria avançado um pouco em sua rotação. A estudante cita explicitamente em sua resposta os movimentos de rotação e translação. Além disso, o estudante explica que Copérnico responde as objeções, utilizando-se de um argumento muito comum para os aristotélicos que o movimento da Terra é um movimento natural.

Entendemos que trabalhar com diferentes modelos cosmológicos fez com que os estudantes percebessem as relações existentes entre esses modelos, promovendo uma postura mais crítica. Vale salientar que durante a aula a professora observou, que os estudantes se mostraram interessados em relação às atividades e suas discussões foram intensas durante a aula quando abordamos o modelo copernicano.

Além disso, nesta aula, percebemos em suas colocações um novo tipo de argumentação que contemplou algumas palavras que nos sinalizaram a compreensão de alguns estudantes em relação ao papel da hipótese, imaginação e a influência do contexto cultural no desenvolvimento do conhecimento científico.

Quadro 29

<b>Aula 9: 5ª SEMANA (21/11/2017 a 24/11/2017)</b>	
<b>Texto 4</b>	<b>Objetivo Epistemológico</b>
As Contribuições de Tycho Brahe, Kepler, Giordano Bruno e Galileu	O conflito com a tradição cultural e religiosa: a imutabilidade do céu como obstáculo epistemológico à aceitação do modelo de Copérnico;  Problematizar o conhecimento científico como fruto do contexto cultural, influenciado por fatores extracientíficos.
<b>Relato das Aulas</b>	
A questão problematizadora inicial foi: <i>Por que é tão difícil aceitar uma nova concepção de Universo, uma nova teoria?</i> Nesta aula, os estudantes leram o texto que abordou a crença na imutabilidade do Cosmos, associada ao modelo aristotélico-ptolomaico que contribuiu durante séculos para que os astrônomos não dessem atenção aos fenômenos que implicassem em transformações celestes. Nesta aula, os estudantes discutiram o contexto cultural como um importante aspecto que influencia a ciência. Enfatizamos o Renascimento como uma época propícia a uma nova corrente de pensamento que alterava a posição do homem como o centro do universo (antropocentrismo), muito contrária à cultura medieval que era teocêntrica.	

Quadro 30

<b>Aula 10: 6ª SEMANA (27/11/2017 a 01/12/2017) e Aula 11 (7ª SEMANA (04/12/2017 a 08/12/2017)</b>	
<b>Texto</b>	
Revisão dos textos	
<b>Relato das Aulas</b>	
(Retomada dos textos já abordados anteriormente)	

**Quadro 31:** Exemplos de respostas para a Questão: Por que havia explicações diferentes para os mesmos fenômenos observados na natureza? Justifique.

### Aula 12 AVALIAÇÃO I - 8ª SEMANA (11/12/2017 a 15/12/2017)

#### Relato das Aulas

Retomamos a questão: *Por que os primeiros filósofos chegavam a diferentes conclusões para explicar os fenômenos da natureza?* Nossa intenção foi investigar se houve uma melhor compreensão por parte dos estudantes de que a observação não é neutra e sempre é influenciada pelas concepções prévias do filósofo/pensador. Alertamos o leitor desta tese que já tínhamos trabalhado com os estudantes até o Texto 3 - **Preparando o terreno** quando fizemos a primeira avaliação do curso. A seguir apresentamos as respostas de alguns estudantes em relação às questões da Avaliação I realizada no dia 11/12/2017 (Turma F) e 14/12/2017 (Turma E).

**Quadro 32:** Exemplos de respostas para a Questão: Por que havia explicações diferentes para os mesmos fenômenos observados na natureza? Justifique.

### AVALIAÇÃO INDIVIDUAL I -

Estudantes	Exemplos de Respostas
E1	Havia explicações diferentes por conta de não haver “tecnologia” na época e o que se conhecia era muito pouco, haviam diversas hipóteses sobre onde se localiza a Terra e o Sol, ou seja não tinham nada de “concreto” até aparecer uma teoria com comparação, e diversas opiniões de astrônomos, pensadores interferiram.
E24	Naquela época <b>não existia aparatos tecnológicos</b> , o que dificultava muito nos estudos, portanto os estudiosos se limitavam apenas a observação e isso geravam diferentes interpretações (...)
E26	Porque os filósofos apresentavam ideias semelhantes, com <b>concepções (visões diferentes)</b> . Para que <b>um modelo</b> seja aceito, leva um <b>longo período de tempo</b> , a natureza é dinâmica.
E33	Pois tem que se levar <b>em conta a cultura</b> onde viviam essas pessoas que <b>tentavam explicar</b> , também as <b>crenças, religiosidade, estudos, rotina</b> . <b>O modo de observação e análise argumentativa que elas usavam, se houveram testes, etc.</b>
E11	Havia explicações diferentes para os mesmos fenômenos observados na natureza, pois <b>cada filósofo ou estudioso da época tinha uma determinada educação</b> , estudava determinadas coisas e <b>tinha suas crenças e ideias, já que viviam em uma determinada época</b> , e em lugares diferentes. Isso entre outros fatores fazia com <b>existisse diferentes explicações para fenômenos parecidos</b> , mas que geravam diferentes ideias e concepções.
F33	A produção do conhecimento científico é <b>fruto de muitas controvérsias, de ideias que surgem e são abandonadas ou retomadas posteriormente</b> . Tudo sempre foi e ainda é uma incerteza, o que abre espaço para dúvidas.
F29	As diferentes teorias e explicações para um mesmo acontecimento se dá pelo fato de <b>visões distintas acerca</b> do assunto. Havia também necessidades específicas para cada teórico, que partindo delas

	desenvolviam <b>suas ideias e trabalhavam com bases distintas</b> . Em suma, pode-se dizer que as diferentes visões e necessidades usadas como ponto de partida se desenvolveram de acordo com metodologias particulares que certamente se deferiam e refletiam em uma gama de variadas teorias para explicar um mesmo fenômeno.
<b>F1</b>	Entre os fatores usados para explicar as diferenças, podemos citar <b>influências ideológicas, época e local de nascimento dos filósofos</b> .
<b>F17</b>	Os filósofos sempre tentaram explicar os fenômenos da natureza, e cada um deles possuía uma visão diferente sobre isso. <b>A Igreja também é um dos fatores que causaram essa divergência, pois por conta da Igreja os modelos tinham que salvar as aparências</b> , e que a Terra tinha que ser mantida no centro. Por tentar explicar os fenômenos com essas limitações, havia uma diferença entre os modelos.
<b>F27</b>	Naquela época, havia dois modelos do universo para a explicação dos fenômenos. O modelo aristotélico-ptolomaico era geocentrista enquanto o de Copérnico era heliocentrista, assim <b>partiam de premissas diferentes para a explicação dos fenômenos observados, e portanto, chegavam em explicações diferentes</b>
<b>F22</b>	Por que a <b>aceitação de uma nova ideia na ciência é sempre lenta, a produção do conhecimento científico é fruto de muitas controvérsias</b> , de ideias que surgem e que <b>são abandonadas ou retomadas</b> posteriormente, tudo ainda em uma incerteza, que abre espaço para dúvidas.

**Quadro 33:** Exemplos de respostas para a Questão 1: Faça um breve resumo das causas principais que tornaram o paradigma aristotélico-ptolomaico bem aceito em sua época.

<b>AVALIAÇÃO INDIVIDUAL I - TURMA E</b>	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>E6</b>	O paradigma aristotélico-ptolomaico foi bem aceito em sua época por vários fatores e pelas circunstâncias. Naquela época, existia a crença de que a Terra era diferente dos outros planetas, e por isso ficava no centro imóvel. A Terra era imperfeita e corrupta, e os outros corpos celestes eram considerados perfeitos. Outro importante fator era a <b>impossibilidade dos filósofos</b> e das outras pessoas de perceberem o movimento da Terra, na nossa concepção a Terra é imóvel e ficava no centro e para comprovar isso, <b>salvando as aparências</b> e sem uso de <b>aparatos tecnológicos</b> foram criados vários modelos geométricos que explicavam os movimentos de outros corpos.
<b>E11</b>	Copérnico viveu na <b>época renascentista</b> , onde <b>as formas de estudar a natureza estavam mudando</b> , o que o fez <b>imaginar um sistema diferente</b> foi o fato dessas mudanças e do <b>questionamento acerca de determinadas observações</b> . Ele acreditava que a Terra não era o centro, mas sim o Sol era, e que os outros corpos giravam em torno do mesmo. Ele também <b>contestava</b> a ideia dos movimentos errantes, dizendo que a Terra tinha esses movimentos, que esse movimento era suficiente para explicar as “anormalidades” dos movimentos.
<b>F38</b>	Diversos fatores tornaram o paradigma aristotélico-ptolomaico bem aceito em sua época podendo citar como principais: (1) o dogmatismo religioso, os ideais da época previam que a Terra seria especial em relação as demais coisas (2) Os movimentos aparentes dos corpos celestes sem uma melhor análise levaram a conclusão de um sistema geocêntrico.
<b>F25</b>	<b>Cada modelo buscava defender uma coisa</b> , por exemplo, o Heliocentrismo é <b>justificado com os fatos, já o geocentrismo tenta defender</b> as aparências. A <b>questão dos graves</b> justifica essa tese, já que para <b>Aristóteles um grave só se movia por conta do elemento que ele pertencia</b> , agora Copérnico <b>explica que um grave só se mexe porque ele gira junto com a Terra</b> .
<b>F8</b>	O paradigma aristotélico-ptolomaico, foi bem aceito nesse período porque explicava as fases da Lua e era bastante utilizado na localização de navio em alto mar, ou seja, um mecanismo extremamente útil para a época, e isso ajudou a tornar o paradigma bem aceito.

Quadro 34

### ANÁLISE DAS RESPOSTAS

Podemos inferir que a estudante **E1** entendeu a influência cultural, reconhecendo que a origem das ideias dos pensadores/filósofos estão inseridas neste contexto. Esse estudante alterou sua visão de ciência, pois anteriormente durante as aulas se referiu a ausência de tecnologia como um problema para o desenvolvimento da ciência.

No entanto o estudante **E6** cita “(...) *na nossa concepção a Terra é imóvel e ficava no centro e para comprovar isso, **salvando as aparências e sem uso de aparatos tecnológicos foram criados** vários modelos geométricos que explicavam os movimentos de outros corpos”, levando-nos a entender que o estudante ainda tem uma visão anacrônica da ciência, tomando como critério as ideias científicas do presente para analisar as teorias do passado. Mas também percebemos que as menções dos estudantes relativas a “aparatos tecnológicos” foram em menor número **em relação à questão acima**.*

Essa concepção está impregnada da visão muito difundida pelos professores, que o experimento é comprobatório da argumentação científica. Percebemos na resposta do estudantes **E1** e **F25** a ideia da historicidade da ciência, trazendo à discussão os diferentes **modelos, assim como o contexto histórico**. Os termos grifados nas transcrições das respostas sugerem este aspecto. Desse modo, podemos inferir que esses estudantes abordaram elementos que contemplam a dimensão cultural da Física, como mostraram as respostas transcritas.

Quadro 35

### Aula 13: 1º SEMANA (19/02/2018 a 23/02/2018)

Texto 5	Objetivo Epistemológico
Os Defensores Do Sistema Copernicano: Giordano Bruno e Galileu Gallei.	Discutir a relação entre pressupostos teóricos e observação; Discutir a reação entre hipótese/teoria/experimentação

### Relato das Aulas

Nesta aula a ênfase foi apresentar para os estudantes as contribuições de Giordano Bruno e Galileu para a teoria heliocêntrica. Iniciamos a problematização da seguinte forma: estudamos a dificuldade do modelo de Copérnico em argumentar contra as objeções dos aristotélicos em relação ao movimento da Terra. No entanto, Copérnico contra argumenta afirmando que esse movimento de rotação é um movimento natural.

Portanto, se a Terra está em movimento, por que não percebemos pelos sentidos seus efeitos na superfície? Como Galileu conseguiu dar uma explicação satisfatória para os efeitos do movimento de rotação da Terra? Após essas questões iniciais os estudantes leram o texto 5 em pequenos grupos e foram instruídos em discutir as questões no final do texto 5. A professora entrevistou os grupos. Transcrevemos algumas falas dos estudantes em relação às discussões na sala de aula.

**Quadro 36:** Exemplos de respostas para a Questão: Como as observações de Galileu contribuíram para a consolidação do modelo copernicano?

ENTREVISTAS: Turmas E e F	
Estudantes	Exemplos de Respostas
E1	Com certeza, a observação com a luneta contribuiu para derrubar a ideia de perfeição da Terra (...)
E2	Sim, tipo ele observou que a Lua tinha crateras e isso mostra que o mundo celeste não era perfeito como Aristóteles dizia...
E34	Essas observações quebraram um pouco a teoria da imutabilidade dos corpos celestes que todos os corpos celestes são perfeitos e giram numa órbita circular perfeita(...)
E25	É e essas observações das crateras, das falhas da Lua é que ele demonstra um pouco dessa ideia falsa de imutabilidade do céu da teoria de Aristóteles.
F17	Com certeza, a observação com a luneta (...) ele viu que a Terra era igual, não era perfeita como diziam os aristotélicos, tipo ele derruba a perfeição da Terra(...)
F22	Sim, tipo observa as fases, as crateras dos planetas (...)
F35	Observando o texto a gente consegue perceber que <b>a relação dos dados com alguma hipótese antecedente</b> , ele usa, algumas outras hipóteses pré-concebida para aprimorar a sua teoria, como por exemplo, no livro Diálogo, que ele usa a teoria dos movimentos naturais que é muito importante, então ele relaciona esses dados a uma teoria pré-concebida.
F30	Galileu se baseava no princípio de relatividade galileana. Ele disse que não dava para a gente saber se a partir de uma experiência mecânica o navio e as coisas dentro dele estão em repouso ou movimento. Tipo isso derruba aquela hipótese que se a Terra estivesse em movimento quando você joga do alto do mastro ela cairia longe (...)

**Quadro 37:** Exemplos de respostas das entrevistas: Não foram as observações e os experimentos de Galileu que causaram uma ruptura com a tradição, mas suas atitudes em relação a eles, os dados eram tratados como dados, e não relacionados a uma hipótese pré-concebida. Você concorda com essa afirmação?

ENTREVISTAS: Turmas E e F	
Estudantes	Exemplos de Respostas
E24	Nós não concordamos com essa afirmação porque Galileu é da época do Renascimento então ele pode ser considerado um divisor de águas (...)
E26	Sim, e o novo método científico de certa forma introduzido por ele. Então nesse aspecto ele é considerado um divisor de águas...
E33	Então como ele é da época do Renascimento, ele passa a ver as coisas de outra forma, <b>então o ser humano passa a questionar as coisas serem de tal forma e sendo assim ele passa a registrar tudo que ele observa</b> a ter um pensamento mais racional sobre os fenômenos naturais, relacionado isso com a matemática e deixando um pouco a ideia dos sentidos, da emoção, das crenças de lado (...)
E37	Concordo que a (E24) <sup>42</sup> justifica que Galileu foi um dos primeiros que expressava o que ele observava, os experimentos que ele fazia com a matemática e não mais com a religiosidade nas questões filosóficas e observações físicas.
F24	Não, afirmação esta errada, pois Galileu <b>não apenas embasava em dados, mas criou um método científico</b> de confirmação das hipóteses a partir da observação dos fenômenos (...) ele observava criava hipótese e ela através da experimentação e assim nasceu o método científico que é ainda usado hoje em dia...
F26	Sim, <b>ele primeiro fez hipóteses</b> para conseguir uma teoria mas na época não ficou nada comprovado...
F33	Eu acredito que para chegar na teoria dele, ele teve que fazer várias experimentações, observações e entender como os astros se comportam mas trazer para a realidade do mundo físico da Terra, como estas coisas funcionam pra tentar teorizar melhor sobre elas. Se for um sistema heliocêntrico, como funciona?
F37	As observações das crateras, ele viu que a Lua era imperfeita e não como Aristóteles imaginava a perfeição, como a Igreja queria que fosse verdade...
F1	A gente analisou o texto e na verdade a gente acabou por descobrir que Galilei na verdade já tinha um preceito, que era o preceito do sistema copernicano que ele usou para se basear sobre uma observação e também teve um diferencial de todos anteriores a eles que se eu não me engano, ele usou uma luneta, né? Para poder observar o céu. Então, né observando a sua luneta, ele pode, por exemplo, comprovar a imutabilidade dos astros.
F2	Ele conseguiu observar as montanhas da Lua, ele conseguiu observar as fases de Vênus e com isso ele conseguiu junto com cálculos matemáticos e outros dados, é comprovar o preceito, comprovar

<sup>42</sup> O estudante se refere a comentário de sua colega (E24).

	fisicamente que a Terra e os outros planetas giram ao redor do Sol (...)
<b>F3</b>	A gente analisou também que ele fazia experimentos idealizados então sempre que ele ia fazer é (...) alguma hipótese ou teoria, ele sempre fazia <b>experimentos idealizados</b> , que <b>eram tipo experimento imaginário</b> que ele criava para ver o experimento real que aquilo ia ter(...)Então a afirmação que tinha na pergunta era errada pois ele fazia observações e experimentos antes de comprovar suas hipóteses.
<b>F40</b>	Eu acho essa afirmação errada, no caso, equivocada porque Galileu embora tenha causado a ruptura com a tradição, ele <b>baseou-se em outros pesquisadores</b> e também não deve ser atribuído só a contribuição a ele. Mas a questão dos dados acho que <b>ele teve uma atitude prudente, não somente trabalhar com os dados, ele expandiu isso e conseguiu elaborar a hipótese, chegar na teoria</b> e fazer a concretização de sua pesquisa com o modelo copernicano, né? É isso que eu acho.
<b>F17</b>	O texto mesmo fala que ele era adepto dos experimentos idealizados, né? Então se ele se preocupasse só com os dados, não teria como ele ter essa capacidade de realizar estes experimentos, né? Ante mesmo da experiência propriamente dita, ele já elaborava um sistema todo, já imaginava todo um principio, um sistema. Se ele se preocupasse só com os dados ele não teria essa capacidade.
<b>F39</b>	Com certeza, ele tinha hipóteses, para observar as fases dos planetas, as crateras (...)
<b>F4</b>	Tipo o Tycho, eu li aquele livro do Marcelo Gleiser(...) ele fala dos modelos da esfera cristalina(...) mas acho que Galileu conseguiu fazer o que fez porque tinha hipóteses antes...

**Quadro 38: Análise das respostas das entrevistas (Quadro 37).**

Nesse episódio, percebemos que os estudantes têm uma percepção da visão de Ciência e do trabalho do cientista mais adequada. Aqui, merece destaque a fala do estudante **F 35** (Quadro 36). Este estudante menciona a relação dos dados com uma teoria preconcebida por Galileu. Assim, percebemos que o estudante desenvolveu a percepção de que a construção do conhecimento científico é guiada por crenças, que influenciam a observação. No entanto, observamos que o estudante **F1** (Quadro 37) tem uma percepção equivocada, pois, embora as descobertas de Galileu com a Luneta negarem algumas afirmações das concepções aristotélicas, estas não eram fortes o suficiente para combater o modelo geocêntrico, como a de que todos os corpos giravam em torno da Terra ou sobre a perfeição dos céus.

Outro ponto que merece destaque são as afirmações dos estudantes **F3** e **F40** do Quadro 37. O estudante **F3** reconhece o papel dos experimentos idealizados como algo que contribui para a formulação de hipóteses. Portanto, identificamos que o estudante adquiriu uma percepção mais adequada da Ciência e da complexa relação entre observação de um fenômeno e sua interpretação na prática científica. O estudante **F40** menciona que Galileu se baseou em outros pesquisadores para a formulação de suas teorias. Assim, encontramos evidências de que os estudantes reconhecem o trabalho coletivo da Ciência, rompendo com uma visão de Ciência neutra e linear.

**Quadro 39:** Exemplos de respostas para a Questão: Quais foram as principais contribuições de Galileu para a consolidação do modelo copernicano?

<b>GRUPOS (2, 3,5 e 8) – TURMA E e GRUPO F: (7, 10, 9 e 4);</b>	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>Grupo 2:</b> (E1, E2 e E3)	Galileu mostrava que os planetas eram semelhantes à Terra e também foi um dos primeiros a utilizar numa língua de uso comum, o italiano ao invés do latim para escrever e publicar seus últimos livros. Galilei também observou as crateras da Lua e percebeu que era imperfeita. Isso derrubou o paradigma aristotélico de astros perfeitos.
<b>Grupo 5:</b> (E2, E14, E33 e E37)	Galileu contribui com esse modelo mudando a questão de movimentos perfeitos, a circularidade dos astros. Galileu diz que os astros apresentam movimento irregular, e alguns podem apresentar fases e periodicidade.
<b>Grupo 3:</b> (E24, E26, E33 e E37)	Galileu critica fortemente a ideia aristotélica da existência de um mundo incorruptível ( celeste ) e de um mundo imperfeito (terrestre) em seu livro Diálogo. Posteriormente essa idéia aristotélica será abandonada.
<b>Grupo 8:</b> (E19, E29, E27 e E38)	Uma das principais foram as observações em Júpiter e seus satélites, as observações da Lua, questionando o universo perfeito de Aristóteles e o geocentrismo. Além disso, Galileu escreveu obras em italiano, ao invés de latim, o que possibilitou uma maior popularidade.
<b>Grupo 7:</b> (F3, F6, F14 e F17)	Sim, pois observando Vênus ele descobriu que sua iluminação apresentava variações que reforçavam sua defesa do heliocentrismo.
<b>Grupo 10:</b> (F30, F1, F38 e F29)	Suas contribuições sobretudo a relatividade Galileana e a observação das crateras e montanhas lunares, foram importantes para a contribuição das pesquisas que levaram a consolidação do modelo copernicano.
<b>Grupo 9:</b> (F10, F11, F16 e F36)	Sim, as observações de Galileu forma a causa que os levaram a acreditar no modelo de Copérnico, porque Galileu foi um dos primeiros a aliar experimentação com a construção teórica em linguagem matemática, com isso questionou os paradigmas de Astros perfeitos e imutáveis do pensamento Aristotélico.
<b>Grupo 4:</b> (E1, E3, E23 e E25)	Galileu teve uma importância na consolidação do modelo copernicano, pois ele foi um dos primeiros a apresentar bons argumentos para defender essa visão heliocêntrica. Além disso, suas observações o possibilitaram descobrir que Vênus apresentava fases e que a Lua possuía crateras e montanhas que ia contra o paradigma de astros perfeitos e universo imutável do pensamento aristotélico. Com o princípio da inércia, Galileu conseguiu aperfeiçoar o modelo copernicano.

**Quadro 40:** Análise das respostas em grupo (Quadro 39).**ANÁLISE DAS RESPOSTAS: TURMAS E e F**

As respostas dos estudantes revelaram que houve uma compreensão do papel das observações com a luneta para a consolidação do modelo copernicano. Houve uma compreensão que Galileu conseguiu mostrar a possibilidade do movimento da Terra (para as fases de Vênus) e refutar algumas afirmações da concepção aristotélica, como a de que todos os corpos giravam em torno da Terra ou sobre a perfeição dos céus.

No entanto as justificativas para a resposta não permitem afirmar que os estudantes tenham compreendido que, apesar das observações darem uma grande contribuição para a consolidação do modelo copernicano, não podiam comprová-lo de fato. Algumas respostas forneceram elementos adicionais, como citando que Galileu foi o primeiro a escrever e publicar em língua de uso comum.

**Quadro 41****Aula 15: 2º SEMANA (25/02/2018 a 02/03/2018)**

<b>Texto 6</b>	<b>Objetivo Epistemológico</b>
As Contribuições de Tycho Brahe e Johannes Kepler	Discutir a relação entre pressupostos teóricos e observação

**Relato das Aulas**

Nesta aula procuramos discutir com os estudantes suas colocações sobre o texto. Então apresentamos a seguinte questão? Que concepção norteou os trabalhos de Kepler? Muitos estudantes responderam à questão afirmando que Kepler ao “*contrário dos antigos gregos não se contentou em salvar as aparências*”. Algo que foi muito destacado por grande parte dos estudantes nas duas turmas: **E** e **F**. Alguns estudantes destacaram que o estudo da órbita de Marte foi fundamental para Kepler perceber que havia “algo errado” na fala do estudante **F24**. O estudante **F 40** nos deu uma resposta mais elaborada: “*Kepler acreditava que o universo podia ser explicado pela Matemática (...) a gente leu no texto que ele ficou cismado em encaixar os poliedros... Então ele não era só místico (...) ele achava que a matemática poderia explicar (...)*” **F17**: “*também ele estudou a órbita de Marte (...) isso foi que fez com que ele visse que tinha alguma coisa errada com as órbitas, ele não conseguia (...) mas tipo ele ficou preso no círculo. F32: “Não, não concordo, ele mudou quando viu que não se ajustava a matemática que ele queria (...)*”. Retomei as mesmas questões na turma **E** e tivemos respostas e ênfases semelhantes dos aspectos citados pela turma **F**. A seguir colocamos algumas colocações das discussões na turma **E** referente às mesmas questões feitas para a turma **F**: **E 22**: “*Kepler estudou a órbita de Marte e aí ele viu (...) ele não conseguia ajustar.. Então ele mudou e colocou a elipse*”. Então retomamos a questão: Por que foi tão difícil abandonar o círculo para Kepler? **E22**: “*por que...ele também era um pouco místico(...) aquela ideia que o círculo é perfeito*”. **E18**: “*É mais ele abandonou e ajustou a elipse*”. Neste momento enfatizei novamente que o ato de observar está fortemente impregnado por crenças e valores do cientista que observa. Alguns estudantes lembraram o texto 1 quando abordamos as diferentes escolas de pensamento dos diferentes filósofos gregos. O estudante **F32** destacou o estudo de William Gilbert que estudava a atração/repulsão dos ímãs como um “ponto inicial importante para o

estudo de Kepler” na fala do estudante. Concordamos com a observação do estudante e solicitamos que continuassem a discussão socializando com a sala. Fazia-se necessário destacar alguns pontos importantes relacionados ao texto. Então perguntamos: O que vocês destacariam sobre Kepler no texto? O estudante **F8** respondeu: “*Ele estudou os dados do Brahe e acho que foi importante, principalmente o de Marte(...).*”

Neste ponto, destacamos que as análises realizadas por Kepler, e levando-se em consideração a posição excêntrica do Sol, ele verificou que a Terra se movia mais rápido quanto mais próxima do Sol (periélio). *Então o que ele fez? Perguntamos: O que foi importante para ele formular a sua primeira lei?* Os estudantes responderam coletivamente que os dados de Tycho Brahe contribuíram para ele desenvolver suas leis. Neste momento a professora destacou que os vários dados e sua análise teórica desses dados o levou a perceber que a Terra não se movia uniformemente ao longo de sua órbita e que, portanto sua velocidade dependia de sua distância ao Sol, que comandava esse movimento. Essa análise o levou a formular o que conhecemos hoje como a primeira lei de Kepler: “*todo planeta move-se em órbita elíptica com o Sol ocupando um dos focos*”. Um dos estudantes adiantou: **E4**: “*Sim, essas leis foram importante para Newton “ a gente leu no texto, né?”*”. Então a professora procurou enfatizar novamente que Kepler procurava uma causa física para o movimento dos Planetas. Ele não aceitava a explicação dos artifícios geométricos como justificativa para o movimento dos planetas. Neste momento da discussão muitos estudantes colocaram a seguinte ideia: “*Sim, ele analisava e queria algo lógico... e não só se contentar com as aparências*”. Esse aspecto contrapondo os antigos gregos com a técnica de “salvar as aparências” foi muito destacado pelos estudantes nas duas turmas e eles voltavam a essa ideia muitas vezes na discussão até o final da aula. No quadro 42 a seguir estão transcritas as respostas referentes às questões formuladas na Aula16 (QUADRO 11) que está no Anexo II (p. 284).

Quadro 42

GRUPOS– TURMA E TURMA F	
Estudantes	Exemplos de Respostas
<p><b>Grupo 1:</b> (E23, E33, E20 e E19)</p>	<p>1-Porque Kepler estava preso aos modelos dos antigos gregos, que pregavam uma órbita circular.</p> <p>2 - a) Sim, pois a ciência está baseada na gravidade busca de dados esta intimamente ligada com a natureza e seus fenômenos; b) <b>o método científico tem espaço sim para a imaginação e criatividade, pois o conhecimento científico é influenciado pela cultura e costumes de um povo.</b> Essas características foram essenciais para o desenvolvimento da ciência, pois antigamente não tinha aparatos tecnológicos.</p> <p>3-a) o modelo heliocêntrico; b- o Sol; c- A Lua; c) as fases da Lua.</p>
<p><b>Grupo 4:</b> (E3, E11, E13 e E18)</p>	<p>1 -Kepler tentava conciliar o fundamento cristão e científico. E ele tinha influência luterana e não gostaria de abandonar sua crença.</p> <p>2 - a) Em uma visão ampla dos cientistas eles têm o mesmo objetivo, a busca pela regularidade na natureza; b) Incorreta, pois no método científico envolve também a intuição, imaginação e criatividade e não apenas linearmente construídas.</p> <p>3- a) Modelo geocêntrico, onde a Terra seria o centro; b) O Sol; c) A Terra; d) O fenômeno seria as fases da Lua.</p>
<p><b>Grupo 2:</b> (F1, F2, F34 e F25)</p>	<p>1- Kepler tinha influencia luterana e não gostaria de abandonar sua crença, por isso tentava conciliar os fundamentos cristãos e científicos -</p> <p>2 - a) Correta, pois uma visão ampla dos cientistas, eles têm o mesmo objetivo, a busca pela regularidade, onde procuram achar uma explicação geral dos fenômenos da natureza; b) <b>Incorreta, pois no método científico, existe um conjunto de etapas que envolvem também a intuição, imaginação e criatividade</b> e não apenas etapas linearmente construídas.</p> <p>3 - a) O modelo apresentado na estrofe coloca o Sol no lugar da Terra, seguindo o modelo geocêntrico, onde a Terra seria o centro; b) Se refere ao Sol; c) Se refere à Terra; d) as fases da Lua.</p>
<p><b>Grupo 7:</b></p>	<p>1- Porque Kepler acreditava, partindo de sua fé cristã, que havia criado o universo e o sistema planetário de forma perfeita e</p>

<p><b>(F19, F23, F26, F27 e F32)</b></p>	<p>geométrica e tal crença não o permitiu a princípio, aceitar que a órbita não trazia um movimento de círculo perfeito.</p> <p>2 - a) A afirmação se faz correta, ao buscar os porquês no estudo científico, os estudiosos buscam explicações regulares e naturais.; b) Não esta correto, uma vez que o princípio do método científico caracteriza-se pela intuição e imaginação na formulação das hipóteses na qual parte-se de uma mudança de algo pré-estabelecido, exigindo certa imaginação. Ainda mais na astronomia onde a datação, experimentação e observação dos fatos fazem-se demasiado complexas.</p> <p>3 - a) Apresenta o modelo heliocêntrico, pois refere-se a um dos corpos como quarto assento; b) A Terra, pois observamos a partir desse ponto de vista o universo, sendo assim o olho; c) É a Lua de Júpiter, pois segundo a mitologia Diana é a filha de Júpiter; d) Os “três rostos” referem-se as três fases da Lua, apesar de em fato existirem quatro, uma delas não é visível.</p>
<p><b>Grupo 3:</b> <b>(F30, F24, F29, F39, F2 e F16)</b></p>	<p>1 - Pois a ideia da órbita circular já estava nas bases do pensamento a respeito dos modelos de gravitação em sua época, tornando-se difícil a elaboração de um novo pensamento a respeito das órbitas</p> <p>2 - a) Embora a ciência busque regularidades nas pesquisas realizadas, isso não é um meio único a ser seguido para a compreensão integral da realidade da natureza; b) Apesar de o método científico ser utilizado na elaboração das pesquisas, <b>jamais se deve retirar a imaginação e a criatividade no desenvolvimento do conhecimento científico</b>, pois é uma condição do ser humano e abre espaço para a elaboração do conhecimento.</p>
<p><b>Grupo 5:</b> <b>(E7, E8, E9 e E10)</b></p>	<p>1 - Kepler não desistiu de procurar uma causa física para os fenômenos observados. Ao contrário das outras pessoas ele não se contentava em salvar as aparências.</p> <p>2 - a) verdadeira, pois a religião sempre procurava a perfeição. Regularidade; b) falsa, pois para iniciar um método científico é necessária a <b>imaginação, a intuição</b>.</p> <p>3 - a) O modelo de universo que o Texto cita é o mesmo em que acreditamos hoje, com os planetas em ordem de acordo com a distância, começando em Saturno e indo até Vênus; b) Se refere a Terra; c) Se refere a Lua.</p>

Quadro 43

<b>Aula 17 : 4° SEMANA (12/03/2018 a 16/03/2018)</b>	
<b>Texto 7</b>	<b>Objetivo Epistemológico</b>
Os Caminhos de Newton para os “Principia” (Princípios)	Discutir como Newton construiu princípio da gravitação universal que se constituiu na sua grande síntese, iniciada por Copérnico.
<b>Relato das Aulas</b>	
<p>Este encontro inicia-se com uma breve revisão do que foi abordado nas aulas anteriores. Desse modo, foi norteado pelas seguintes questões problematizadoras: (a) Que tipo de objeção Descartes fez à ideia de ação a distância entre os corpos celestes? Os estudantes responderam que Descartes explicou a partir dos vórtices e que Newton não concordava com esse pensamento de Descartes. Procuramos destacar para os estudantes que as controvérsias fazem parte da construção da prática científica. A seguir questionamos: Como Newton chegou a essa idéia? O estudante <b>F24</b> respondeu que foi a partir dos estudos de Kepler. A maioria da sala concordou com ele. No entanto os estudantes relataram que tiveram dificuldade para compreender o texto 7. Assim, eles solicitaram que a professora explicasse com uma aula expositiva como Newton tinha obtido a lei da Gravitação Universal.</p> <p>Nesta aula, explicamos que apesar de Kepler enunciar suas três leis, ele tinha deixado algumas questões que ainda não tinham uma solução satisfatória. Uma dessas questões estava relacionada ao que provocava os movimentos observados no céu. Então começou um estudo com o objetivo de explicar as causas dos efeitos que foram estudados por Kepler. Procuramos problematizar explicando o “experimento idealizado” por Newton para entender a força que desvia a Lua da sua trajetória retilínea e a mantém presa à Terra. A partir dessa discussão, apresentamos a demonstração matemática da Lei da Gravitação Universal.</p>	

Quadro 44

<b>Aula 19 : 5° SEMANA(19/03/2018 a 23/03/2018)</b>	
<b>Texto</b>	<b>Objetivo Epistemológico</b>
Os Caminhos de Newton para os “Principia” (Princípios)	Discutir como Newton construiu seu princípio da gravitação universal que se constituiu na sua grande síntese iniciada por Copérnico.
<p>Após a apresentação da professora, foi solicitado que os estudantes respondessem algumas questões. Transcrevemos abaixo as respostas dos estudantes a algumas dessas questões:</p>	

**Quadro 45:** Exemplos de respostas para a Questão: Podemos dizer que a Lua “cai” ao redor da Terra, ao invés de cair diretamente sobre ela. Se a velocidade tangencial fosse zero, como a Lua se moveria?

<b>GRUPOS – TURMAS E e F</b>	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>Grupo 4:</b> (F3, F6, F9 e F16)	Quando se duplica uma das massas, se duplica a força. Se duplicar ambas as massas, a força é quadruplicada.
<b>Grupo 2:</b> F2, F8, F17 e F40)	Se a velocidade tangencial fosse zero, a Lua se moveria diretamente em direção à Terra.
<b>Grupo 3:</b> (F4, F17, F35 e F40)	A Lua não faria o movimento de translação ou revolução, e sem esse movimento ela “cairia em direção a Terra”.
<b>Grupo 6:</b> (F6, F9, F10 e F11)	Se fosse zero, ela não se moveria em órbita.
<b>Grupo 8:</b> (F20, F23, F24 e F25)	A Lua se moveria radialmente em direção à Terra, como se estivesse caindo. Porque sem a velocidade para mantê-la em movimento, ela seria atraída pela Terra por causa da gravidade.
<b>Grupo 10:</b> (F22, F31, F32 e F33)	Se a velocidade tangencial fosse zero, ou seja, se essa força vetorial não existisse, a Lua seguiria sua trajetória linear, pois a velocidade tangencial é quem dita o sentido ( elíptica, linear...) do movimento.
<b>Grupo 6:</b> (E4, E2, E14 e E22)	Se a velocidade tangencial da Lua fosse zero a Lua cairia em direção a Terra e colidiria com ela.
<b>Grupo 7:</b> (E1, E2, E6 e E8)	Se não houvesse a velocidade tangencial, a Lua iria se chocar com a Terra.
<b>Grupo 4:</b> (E24, E25 e E27)	Se a Lua adquirisse uma velocidade tangencial zero, a teria o movimento natural de cair em direção à Terra.
<b>Grupo 3:</b> (E2; E14; e 26)	Se a Lua tivesse velocidade tangencial zero, não haveria força para manter a Lua em sua órbita, ela seria forçada para a superfície da Terra pela gravidade do planeta.

**Quadro 46:** Exemplos de respostas para a Questão: De acordo com a equação da lei de gravitação universal o que acontece à força entre dois corpos se a massa de um deles for dobrada? E se ambas forem dobradas?

<b>GRUPOS – TURMAS E e F</b>	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>Grupo 1:</b> (F3, F6, F9 e F16)	Quando se duplica uma das massas, se duplica a força. Se duplicar ambas as massas, a força é quadruplicada.
<b>Grupo 5:</b> (F2, F8, F17 e F40)	Com base na lei da gravitação universal, a força entre dois corpos dobra-se, se a massa de um deles for dobrada e quadruplica caso ambas as massas forem dobradas.
<b>Grupo 3:</b> (F4, F17, F35 e F40)	Como a força gravitacional é proporcional as massas, se ela fosse dobrada, a força gravitacional também será dobrada, e se ambas forem dobradas, a força gravitacional será maior.
<b>Grupo 8:</b> (F20, F23, F24 e F25)	Se a massa de um deles for dobrada a força também será. Se ambas as massas forem dobradas a força se quadruplicará.
<b>Grupo 10:</b> (F22, F31, F32 e F 33)	Caso a massa de um dos corpos seja dobrada, a força também será aumentada proporcionalmente. Se ambos os corpos dobrarem as suas massas, a força será quadruplicada,
<b>Grupo 6:</b> (E4, E2, E14 e E22)	Se a massa dos corpos forem dobradas e a distância for a mesma, a força gravitacional será aumentada proporcionalmente.
<b>Grupo 7:</b> (E1, E2, E6 e E8)	Se a massa de um corpo for dobrada a força também será dobrada. Caso ambas as massas sejam dobradas, a força quadruplicará.

**Quadro 47:** Exemplos de respostas para a Questão: O cientista depende exclusivamente da observação e do experimento para elaborar sua teoria?

<b>GRUPOS – TURMAS E e F</b>	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>Grupo 4:</b> (F3, F6, F9 e F16)	Não, o próprio Newton afirmou que” Se eu cheguei onde eu cheguei, é porque eu me apoiei nos ombros de gigantes. Concluindo que ele se baseou nos experimentos de outros pensadores, e não apenas em suas próprias observações.
<b>Grupo 2:</b> (F2, F8, F17 e F40)	Não, além das observações , o cientista se baseia em hipóteses pré-concebidas ( idealizações), estudos de outros cientistas, constatações de dados e experimentações.
<b>Grupo 3:</b> (F4, F17, F35 e F40)	Não, ele pode recorrer a observação para a elaboração das teorias, só o que não é o único meio, há também os experimentos mentais e a imaginação que desempenham um papel fundamental na elaboração das teorias.
<b>Grupo 6:</b> (F6, F9, F10 e F11)	Não. Em alguns casos a experimentação não se faz possível, fazendo-se necessário os experimentos imaginários.
<b>Grupo 8:</b> (F20, F23, F24 e F25)	Não, porque ele pode se embasar as teorias, já existentes ou em hipóteses criadas por ele mesmo.
<b>Grupo 10:</b> (F22, F31, F32 e F33)	Não, estudiosos tem pontos de vistas, constatações e métodos diferentes, resultando em conclusões distintas. Exemplo, a visão de Aristóteles baseava-se na ideia do geocentrismo, por outro lado, Copérnico apoiou-se no modelo heliocêntrico.
<b>Grupo 6:</b> (E4, E2, E14 e E22)	Não, ele também depende de seu conhecimento adquirido anteriormente sobre o assunto e outros relacionados, suas crenças também podem influenciar no modo como a observação será interpretada.
<b>Grupo 7</b> (E1, E 2, E6 e E8)	Não, o cientista pode embasar-se também em observação da natureza, conhecimento pré-concebido, etc,
<b>Grupo 4</b> (E24, E25 e E27)	Não. Há também outros fatores que contribuem para elaborar uma teoria, tal como pesquisas, hipóteses, etc,
<b>Grupo 3:</b> (E2, E14 e 26)	Não, porque ele pode se embasar em teorias, já existentes ou em hipóteses criadas por ele mesmo.

**Quadro 48**

<b>Aula 22 : 7º SEMANA (26/03/2018 a 27/03/2018)</b>
Avaliação Final 2
Transcrevemos a seguir algumas respostas da avaliação final dos textos.

**Quadro 49:** Exemplos de respostas para a Questão 1: Quais das seguintes atividades envolvem expressões de cultura, criatividade e imaginação? a) Pintura b) Literatura c) Ciência d) Música e) Religião

TURMA E e F	
<p><b>Objetivo:</b> O principal objetivo dessa questão é identificar se o estudante percebe a ciência como parte integrante da cultura humana. Categorizamos como dimensão cultural, quando reconhecemos que são enfatizados nas respostas dos estudantes elementos como a imaginação, a criatividade, crenças e valores envolvendo a atividade científica, e portanto, a ciência.</p>	
Estudantes	Exemplos de Respostas
<b>E24:</b>	<p><b>Todas as atividades envolvem expressões de cultura, criatividade e imaginação.</b> A arte e todas as formas de expressões do ser humano estão intimamente ligadas com o <b>indivíduo e sua concepção de mundo</b>. <i>E o que influencia o indivíduo e sua concepção de mundo?</i> <b>A cultura. Até mesmo o conhecimento científico sofre influencia da cultura</b>, da criatividade e imaginação, pois as pessoas estão ligadas a isso. É uma característica de quem vive em sociedade.</p>
<b>E31:</b>	<p>Tanto as atividades envolvem tanto <b>expressões de cultura e criatividade</b>, como de <b>imaginação</b>, pois todas se interligam. A religião depende do meio <b>sócio-cultural</b> ao qual o indivíduo está inserido, assim como a <b>ciência é desenvolvida através de hipóteses (imaginação)</b>, e assim por diante. Sendo assim, as expressões de cultura, criatividade e imaginação não podem ser pensadas isoladamente.</p>
<b>E33:</b>	<p><b>Pois está muito ligada ao local em que X cientista ou filósofo nasceu, e viveu também com a cultura daquele local, o tempo, os costumes, tradições, a sua forma de enxergar o mundo, o senso crítico, a religião</b>, o que aprendeu dos pais.</p>
<b>E37:</b>	<p>Todas essas atividades, exceto <b>a ciência</b>, envolvem <b>cultura, criatividade e imaginação</b> no seu processo. A ciência, por sua vez, é baseada em métodos e pesquisas, tendo assim um valor verídico e não empírico.</p>
<b>F29</b>	<p>Todas as atividades envolvem esses tópicos, tendo em vista que é evidente que pintura, literatura, música e religião estão inseridos nesses tópicos. Na Ciência os fatores de Cultura, criatividade interferem e muito na criação das teorias, já que a observação depende de uma observação prévia.</p>
<b>F30</b>	<p>Todas as opções acima, pois, apesar da ciência parecer algo baseado em dados uma ciência, ela envolve a criatividade, a imaginação pela cultura, a criação de tais teorias e/ou hipóteses varia de civilização para civilização, tendo em vista fase religiosas e dogmáticas <b>que influenciaram na forma do indivíduo ver o mundo.</b></p>
<b>F31</b>	<p>Todas essas atividades expressam cultura, criatividade e imaginação, pois são diferentes instrumentos que repassam o conhecimento no geral. No <b>Renascimento, houve varias transformações nas artes e nos modos de pensamento</b>, portanto são importantes e seguem as mudanças do período, atingindo, por diferentes meios, a população daquela época.</p>

<b>F35</b>	<b>Todas as atividades necessitam de cultura, criatividade e imaginação</b> , incluindo a ciência que, por exemplo, <b>usufrui da imaginação e da criatividade</b> no desenvolvimento de criação das <b>hipóteses e teorias</b> , sem a imaginação e a criatividade dos cientistas não haveria dúvidas nem questionamentos.
<b>F34</b>	Em minha concepção todas as atividades contêm os requisitos mencionados: pintura, música e literatura: em sua composição essas artes utilizam para originalidade de suas obras a criatividade e imaginação expressas pelo autor e influenciam a cultura a sua volta como as eras românticas e clássicas. ciência e religião: a ciência apesar de ser vista como verdade é mutável e tem criatividade para elaborar hipóteses e de suma importância, a religião em sua influencia adquire culturas expressas até mesmo em obras e também impõe.
<b>F21</b>	Todas, pois estes são elementos essenciais ao desenvolvimento da “arte” (música, pintura e literatura) contribuem na formação da religião por um determinado povo, e possuem influencia também na ciência como foi visto nos textos, a cultura influencia muito nas teorias ( como foi visto no caso do modelo geocêntrico), e a criatividade e imaginação, junto com as análises, são essenciais na construção das teorias e modelos.

Quadro 50

### ANÁLISE DAS RESPOSTAS

Muitas das respostas dos estudantes contemplavam a ciência como parte da cultura. A estudante E33 destacou a ciência como atividade que está ligada à cultura, à criatividade e a imaginação. No total de 33 estudantes que fizeram a avaliação II, encontramos apenas o estudante E37 que considerou que a cultura, a criatividade e a imaginação não comparecem na atividade científica. No entanto esse mesmo estudante deixa claro sua percepção cultural da ciência como podemos observar em sua resposta: **Por que cada um possui um método de estudo diferentes, um raciocínio próprio, vai também da cultura de onde você nasceu, mas suas crenças e observações, na sua religião e se você possui uma cabeça aberta para novas descobertas.** Neste aspecto, é importante ressaltar a complexidade da sala de aula, onde muitas vezes os estudantes se posicionam e argumentam trazendo a tona diferentes ideias, em relação a um mesmo tema. Podemos ler na resposta acima explicitamente as palavras, **cultura e crenças**.

**Quadro 51:** Exemplos de respostas para a Questão 2: Comente a seguinte frase e dê um exemplo histórico: “ A produção do conhecimento científico envolve a observação e o registro de dados experimentais, mas os experimentos não são o único caminho para o conhecimento e são dependentes de teorias, já que a observação depende de uma concepção prévia.<sup>43</sup>

<b>AVALIAÇÃO INDIVIDUAL II - TURMA E</b>	
<b>Objetivo:</b> A questão teve como objetivo averiguar a percepção do estudante em relação à experimentação.	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>E21</b>	<b>A produção do conhecimento científico envolve sim a observação e o registro cuidadoso de dados experimentais</b> , mas conforme a afirmação acima, <b>não é apenas isso, a criação dos “conceitos científicos” são idealizações de alguns aspectos selecionados das observações e da imaginação dos cientistas</b> ”, ou seja, eles observavam algo, e obteriam uma <b>concepção sobre o que poderia ser aquilo</b> , e só aí eles criavam as hipóteses e os experimentos. Um exemplo histórico, <b>seria a ideia aristotélica e de Platão, que na época foi muito bem aceita, do geocentrismo</b> . Eles acreditavam nisso porque o que se “via” era os corpos <b>em movimento e não a Terra</b> .
<b>E18</b>	<b>A frase pode ser confirmada se dado o exemplo do pensador Galileu, que em seus métodos utilizava de uma mistura de “experimentos idealizados” (que seriam uma representação mental de um fenômeno real, algo como imaginação) com uma construção teórica expressa em linguagem matemática.</b>
<b>E31</b>	O conhecimento científico não é realizado somente a partir de experimento, <b>pois antes do experimento ser realizado, já deve-se ter uma teoria no qual ele é baseado.</b>  <b>Observação:</b> Constatamos que a estudante <b>E31</b> apresentou neste final do curso, uma visão mais elaborada da relação teoria/experimentação.
<b>E 34</b>	Essa frase indica um método científico que foi muito importante para o desenvolvimento de teorias do mundo da física. <b>Galileu foi um dos primeiros cientistas a utilizar esse método, a aliar experimentação com uma construção teórica</b> expressa em linguagem matemática para descrever os fenômenos.
<b>E36</b>	Sim, porque antes de <b>comprovar algo cientificamente, é necessário pensar nisso, usar a imaginação</b> , sendo o ponto principal para criar o conhecimento científico. Todas, Newton desenvolveu o princípio da gravitação Universal usando a <b>“lua caindo para a Terra”</b> como experimento e meio de confirmar sua hipótese.
<b>E37</b>	A observação de um determinado fenômeno se tornará uma hipótese, que será evoluída, pesquisada mais a fundo e com o tempo, poderá tornar-se uma teoria. No entanto, <b>esta hipótese pode ser também refutada. O conhecimento é dado a partir de bases que ao longo do tempo são aprimoradas</b> . Como citou Platão: <b>“não é somente a</b>

<sup>43</sup> Questão adaptada de Forato ( 2009).

	<b>matemática que permitirá descrever um determinado fenômeno; é preciso formular hipóteses que não estão livres de outros conhecimentos, como crenças e valores”.</b>
<b>F35</b>	O processo do conhecimento necessita também de experimentos que são realizados como uma representação mental de um fenômeno real, como exemplo. Galileu que abusava de sua criatividade e habilidade experimental nos momentos de criar experimentos para comprovar suas hipóteses e teorias.
<b>F17</b>	A frase esta correta, pois o caminho clássico tradicional visa a comprovação de dados que sim, dependem de observações, da hipótese e das teorias. A frase também sugere, porém não aponta outra forma de analisar a ciência, dizendo que apesar de existir um modelo clássico existem outras maneiras de se chegar à algo, com experimentos teóricos idealizados por exemplo. Newton tinha tais experiências, para poder comprovar suas teorias.  <b>Observação:</b> O estudante F17 esta se referindo a Newton quando ele calculou o período de rotação da Lua em torno da Terra e a aceleração da Lua “caindo” para a Terra.
<b>F21</b>	A frase pode ser exemplificada com <b>Galileu Galilei, que fazia experimentos idealizados</b> , ou seja, quando podem ser realizados mentalmente a partir de um fenômeno real. Com sua <b>criatividade e habilidade experimental</b> , aprimorou equipamentos que auxiliavam suas observações, e que, por fim, chegariam a uma conclusão; e estas observações questionaram o paradigma dos astros perfeitos e imutáveis (visão aristotélica), comprovando a importância de toda essa idealização experimental.
<b>F39</b>	A afirmação acima se encontra correta, pois destaca duas visões a respeito da produção do conhecimento: o registro prudente de dados observacionais e experimentais ( método científico) e destaca que esse não é o único caminho a ser tomado na construção das teorias, abrindo espaço para a imaginação e observação. Se tomarmos como exemplo a construção do pensamento de Galileu com suas idealizações abrindo caminho para a observação veremos a importância das ideias e <b>da imaginação na construção dos pensamentos científicos.</b>
<b>F8</b>	Não há como se chegar a uma resposta a algo que se torne verdadeiro no meio científico, sem antes formular teses e analisar muito bem as hipóteses para que se saiba o que, e como, observar determinados eventos. Estes só podem ser observados se já houver uma ideia do que seja para que se chegue a uma conclusão concreta. <b>Um exemplo são os modelos cosmológicos. Foi necessário muitas hipóteses de muitos filósofos e/ou estudiosos que perduraram por épocas para se chegar a uma observação e uma conclusão do modelo que temos hoje.</b>

**Quadro 52:** Exemplos de respostas para a Questão 3: Em sua opinião, as concepções pessoais de cada filósofo/cientista, assim como o contexto no qual eles estavam imersos, podem ter influenciado o processo de construção das teorias?

<b>AVALIAÇÃO INDIVIDUAL II - TURMA E</b>	
<b>Objetivo:</b> Identificar se o estudante elaborou uma percepção da ciência como construção coletiva e ligada ao contexto histórico e social.	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>E19</b>	Sim, pois cada um tinha vivencias diferentes e ideias contrárias. As construções das teorias vieram da dialética, do diálogo, de experimentos e teses de filósofos.
<b>E23</b>	Sim, tudo o que se passa ao nosso redor nos influencia, isso também aconteceu com eles. A Igreja, por exemplo, por muito tempo acreditaram que a Terra estava no centro do Universo porque o ser humano era a principal criação de Deus, e isso influenciou muitos na sua época, porque quem fosse contra isso era morto.
<b>E24</b>	Sim, pois o processo de construção das teorias envolve observações feitas por filósofos e cientistas, e a visão de mundo destes é influenciada por suas concepções pessoais e culturais.
<b>E31</b>	Sim, pois como <b>não existia um método científico que pudesse auxiliar nos experimentos, o individuo analisava os fenômenos naturais conforme sua crença, cultura e momento histórico no qual ele estava inserido, o que dava a essas análises certo grau de subjetividade.</b>
<b>E34</b>	Sim, e muitas vezes. Para Kepler, por exemplo, foi muito difícil abandonar a órbita circular, que era muito influente na época.
<b>E36</b>	Sim, a situação e o meio em que eles viviam foram o que os impulsionavam a fazerem o que fizeram e pensar o que pensavam.
<b>F39</b>	Sim, o contexto, o pensamento de um determinado período, os conjuntos de ideias, certamente influenciam no processo de construção de um pensamento, que por consequência, mudam a visão que tem-se da realidade, influenciando, pois, o processo de construção das teorias, e na ciência como um todo.
<b>F29</b>	Sim, como exemplo temos o cenário renascentista, época de grande renovação e descobertas, onde todos os meios, até mesmo a ciência, foram abalados por este movimento. Na ciência isto reflete na forma como os estudiosos trabalhavam, muitos inovaram seus métodos e formulações.

**Quadro 53:** Exemplos de respostas para a Questão 4: Com sua luneta Galileu observou até quatro satélites girando em torno de Júpiter. De que forma essas observações contribuíram para a aceitação da teoria heliocêntrica de Copérnico?

<b>AValiação Individual II - Turmas E e F</b>	
<b>Objetivo: Relação observação/experimento</b>	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>E18</b>	As observações de Galileu contribuíram muito para a defesa do Heliocentrismo, já que questionaram de forma contundente o paradigma de astros perfeitos e imutáveis do pensamento aristotélico. E após observações a teoria de Copérnico foi mais aceita, de que não existiam astros perfeitos. E com sua luneta observou que Vênus apresentava fases. E suas descobertas mostram que os planetas eram semelhantes a Terra.
<b>E33</b>	Com suas observações na luneta, Galileu viu que Vênus apresentava fases, os planetas eram semelhantes à Terra, derrubando afirmações aristotélicas de que o céu era perfeito, como a Terra em seu centro. Assim, a teoria heliocêntrica de Copérnico, com o Sol no centro do Universo causando as visões das fases da Lua.
<b>E19</b>	Essa observação rebate com os aristotélicos e apoia o heliocentrismo, pois questiona o paradigma de perfeição e imutabilidade, além que, essa descoberta mostra que os planetas são semelhantes à Terra e elimina os escrúpulos de que se incomoda com o movimento da sozinha Lua.
<b>E24</b>	As observações de Galileu contribuíram muito para a defesa do heliocentrismo, já que questionaram de forma contundente o paradigma de astros perfeitos e imutáveis do pensamento aristotélico. Suas descobertas mostraram que os planetas eram semelhantes à Terra, derrubando a imutabilidade e a perfeição dos céus afirmadas pelos aristotélicos.
<b>E31</b>	<b>As observações de Galileu contribuíram muito para a defesa do heliocentrismo, já que questionam a concepção de astros perfeitos e imutáveis do pensamento aristotélico e desconstruíram a ideia de que a Terra é diferente de outros planetas.</b>
<b>E37</b>	Com suas observações, na Luneta, Galileu viu que Vênus apresentavam fases; os planetas eram semelhantes à Terra, derrubando afirmações aristotélicas de que o céu era perfeito, como a Terra em seu centro. Assim, a teoria heliocêntrica de Copérnico com o Sol no Centro do Universo, causando as visões das fases da Lua passou a ter mais credito.
<b>F8</b>	<b>Com a observação dos 4 satélites de Júpiter, Galileu conseguiu contestar a teoria geocêntrica, pois já não era possível dizer que todos os corpos celestes giravam ao redor da Terra já que Júpiter tinha satélites orbitando o planeta.</b>
<b>F19</b>	Essas observações contradiziam o pensamento de que os astros eram perfeitos e imutáveis, como ele também havia notado que havia crateras na Lua e que Vênus tinha, uma variação em sua iluminação, mostrando os planetas eram parecidos com a Terra.
<b>F20</b>	Ele analisou os quatro satélites de Júpiter e observou Vênus, descobrindo que a sua iluminação variava, ele apresentava fases. Isso questionou o paradigma de astros perfeitos e imutáveis e nos mostrou que os planetas eram semelhantes a Terra, derrubando a imutabilidade e perfeição dos céus.
<b>F21</b>	<b>A partir da descoberta dos quatro satélites de Júpiter, conseguiu mostrar que os planetas são semelhantes à Terra( pois esta também apresenta satélite natural) e que a perfeição dos céus tal como a imutabilidade dos astros imaginadas pelos aristotélicos não existiam, foi também com a descoberta das fases de Vênus que essas concepções mostraram-se errôneas, uma vez que a sua translação em torno do Sol, provocaria essa variação de iluminação.</b>

**Quadro 54****ANÁLISE DAS RESPOSTAS**

Podemos observar que alguns estudantes mencionaram as observações dos satélites de Júpiter como fundamental para a consolidação do modelo copernicano. Outra descoberta muito citada pelos estudantes, e que seria um dos pontos de apoio para a sua defesa do sistema copernicano, são as fases de Vênus. Podemos considerar que em suas respostas estão contempladas os resultados de Galileu com suas descobertas astronômicas e suas consequências para a defesa do modelo copernicano. Também comparece em suas respostas (E18 e E33) argumentos que criticam os princípios da física aristotélica. Portanto, podemos finalizar esta análise dizendo que os estudantes perceberam a importância de Galileu e suas observações astronômicas para a consolidação do modelo copernicano.

**Quadro 55:** Exemplos de respostas para a Questão 5: Comente a seguinte afirmação, justificando seu argumento com um exemplo histórico: “A observação da natureza é simples e não permite diferentes interpretações”.

<b>AVALIAÇÃO INDIVIDUAL II - TURMAS E E e F</b>	
<b>Objetivo: Relação observação/ experimento</b>	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>F8</b>	A afirmação é incorreta, pois se a observação da natureza fosse simples e não permitisse diferentes interpretações, não existiria o conflito ente a teoria geocêntrica e heliocêntrica e também não haveria embate entre outras teorias que explicam eventos da natureza.
<b>F21</b>	A afirmação não condiz com os fatos, já que a ciência desenvolve-se numa certa condição histórica, econômica e social, e portanto as contribuições destes cientistas sofrem influências de crenças e valores. Partindo do início, os filósofos que questionavam a natureza formulavam o seu pensamento em base de matéria prima, como Tales de Mileto usava água como elemento responsável por tudo que existe no Universo. Por outro lado, Platão lançou a ideia de um mundo esférico perfeito, cujos corpos celestes executavam movimentos em círculos perfeitos e com velocidade uniforme.
<b>F20</b>	Tudo que acontece na natureza e que pode ser observado e estudado serve como base para as teorias e não tem margem de erro. Galileu conta que, apenas observando Vênus, percebeu que o planeta apresentava fases, graças às mudanças em sua iluminação.
<b>F24</b>	Para essa frase está correta, é necessário ter alguma forma de conhecimento, prévio ou uma base para suas teorias e experimentos, um exemplo seria Galileu, que desde jovem já aderira ao modelo copernicano antes de apresentar suas próprias ideias.
<b>F 1</b>	<b>A natureza se mostra complexa</b> e com eventos complexos. O modo como ela é analisada <b>muda de pessoa para pessoa de acordo com seus estudos e sua formação, crenças, valores e cultura</b> na qual estão inseridas. <b>Podemos ver isso entre os formuladores da Gravitação. Cada um fez uma análise diferente e enxergando diferentes pontos antes de se concluir algo.</b>
<b>E23</b>	A afirmação é incorreta, pois transmite uma ideia de que uma única interpretação é correta
<b>E24</b>	Pode ser levar muitos anos para entender uma teoria, portanto é errada
<b>E31</b>	Essa afirmação pode ser considerada errada pois existe varias escolas de pensamento. Um exemplo seriam os filósofos gregos um após o outro.
<b>E34</b>	A afirmação esta errada, pois vários filósofos tiveram diferentes interpretações.

**Quadro 56:** Exemplos de respostas para a Questão 6: Que contribuição de Kepler você destacaria na construção da teoria gravitacional?

<b>AVALIAÇÃO INDIVIDUAL II - TURMAS E e F</b>	
<b>Objetivo: Percepção da importância das Leis de Kepler para a Teoria Gravitacional de Newton</b>	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>E23</b>	Destacaria as três leis de Kepler
<b>E24</b>	As suas três leis principalmente a terceira lei
<b>E31</b>	As leis de Kepler influenciaram inspiraram muito Newton no seu estabelecimento do Princípio de Gravitação Universal
<b>E34</b>	As suas três leis, pois sem elas Newton não conseguiria desenvolver a Lei da Gravitação Universal
<b>F3</b>	Kepler em diversos aspectos fora importante, entretanto se vale ressaltar que com a criação das leis de Kepler, Newton fora capaz através de observações achar a causa destas leis e explica - lá em sua teoria que envolvia tal fenômeno.
<b>F36</b>	Sua procura pela causa física dos fenômenos observados, o fato de não se contentar com “salvar as aparências”: Essa característica o levou a formulação de duas leis, que sem as quais Newton não teria conseguido formular a teoria gravitacional.
<b>F8</b>	A postulação de suas Três Leis, com grande foco nas causas dos movimentos dos planetas, foi a grande base para que Newton surgisse com um novo assunto e assim desenvolve-se o Princípio da Gravitação Universal.
<b>F27</b>	As leis de Kepler contribuíram muito para entender os movimentos dos planetas e satélites, ele também descobriu que corpos com massas menores são atraídos para corpos com massas maiores. Ele descobriu isso antes de Newton.

**Quadro 57** Exemplos de respostas para a Questão 7: Considerando o texto que você estudou, a seguinte frase é verdadeira ou falsa? Explique sua resposta. “Newton desenvolveu a teoria da gravitação universal sem a colaboração de outros cientistas.

<b>AVALIAÇÃO INDIVIDUAL II - TURMA E</b>	
<b>Objetivo: Relação de Newton com outros cientistas.</b>	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>E20</b>	Falsa. Newton <b>conhecia os trabalhos de Copérnico, Galileu, Kepler e Descartes, e fez a seguinte declaração:</b> “ Se consegui enxergar mais longe, é porque estou apoiado sobre ombros de gigantes. A ciência não se desenvolve com um único cientista isolado. .
<b>E24</b>	Ele mesmo disse que foi apoiado em ombros de gigantes, portanto teve influencia de outros cientistas.
<b>E39</b>	Falsa, pois no processo de desenvolvimento da teoria da gravitação universal, <b>Newton leu e se apoiou na teoria dos cientistas que vieram antes dele.</b> Para a formação da teoria da gravitação universal, a Leis de Kepler foram essenciais, e outras teorias também as de Copérnico, Galileu e Descartes. E o próprio Newton disse “se consegui enxergar mais longe, é porque estou apoiado sobre ombros de gigantes.”.
<b>E34</b>	A frase é falsa, pois vários cientistas já haviam apresentado teorias e modelos a respeito do mesmo tema e sem eles Newton não teria chegado aonde chegou.
<b>F27</b>	Não, Newton se apoiou nas observações e teorias de outros cientistas, principalmente em Kepler, o estudo de Newton usou de base as leis de Kepler
<b>F 2</b>	Falsa, pois Newton não só conhecia o trabalho de seus antecessores como também conhecia a importância deles para a construção de suas teorias e leis. E para a teoria da gravitação universal, Newton se embasou fortemente nas três leis de Kepler.
<b>F5</b>	Falsa. “Newton mesmo comenta que” me apoiei em ombros de gigantes”, assim é possível perceber que os vasto conhecimento de outros cientistas, foi utilizado para a formação da teoria de Newton, ou seja, houve colaboração de outros cientistas.
<b>F7</b>	<b>Newton já conhecia o trabalho de Kepler,</b> e foi nas três leis de Kepler que ele se baseou para o estabelecimento do Principio da Gravitação Universal. <b>Em uma declaração feita por Newton, ele mesmo reconheceu a importância dos seus antecessores, que são, Copérnico, Galileu, Kepler e Descartes.</b>
<b>F11</b>	A afirmação é falsa, porque Newton teve colaboração de vários cientistas que o antecederam, e até mesmo de cientistas de sua época , dentre esses estão: <b>Kepler; Galileu; Tycho Brahe, Descartes, etc.</b> Podemos comprovar a falsidade dessa frase também com a citação de Newton onde ele diz: “ <b>Se consegui enxergar mais longe é porque estou apoiado sobre ombros de gigantes</b> ”.
<b>F17</b>	Falsa, pois Newton já tinha uma base para criar e desenvolver suas teorias, usufruirá de um acesso à informações que cientistas e filósofos que vieram antes dele não possuíram, todavia isso não rebaixa a mente brilhante que Newton tinha, ele apenas se “ apoiou em ombros de gigante, portanto sua construção para a ciência continua sendo mais que notável’.

**Quadro 58:** Exemplos de respostas para a Questão 8: Qual a diferença entre o pensamento de Platão e Aristóteles?

<b>AVALIAÇÃO INDIVIDUAL II - TURMA E e F</b>	
<b>Objetivo: Percepção dos estudantes em relação a diferença entre o pensamento de Aristóteles e Platão.</b>	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>E23</b>	Platão destacamos o idealismo e Aristóteles a Observação
<b>E24</b>	Aristóteles acreditava que as ideias eram adquiridas da realidade física e Platão acreditava no idealismo e não na observação
<b>E31</b>	Platão era mais idealista e Aristóteles estudava a partir da observação
<b>E34</b>	Aristóteles introduziu uma concepção mais elaborada, e ao contrario de Platão mais idealista.
<b>F3</b>	Platão era idealista e gostava de ver a beleza de cada coisa, a origem do mundo e elementos responsáveis pela sua formação e desenvolvimento, além de ignorar o empírico por ser conhecimento visível e senso comum. Aristóteles por sua vez não ignorava o empírico visível e por isso introduziu uma concepção de esfericidade da Terra mais elaborada. Com base nisto Aristóteles acreditava que cada elemento possuía um lugar natural, e que isto levava os corpos pesados se movimentarem radialmente em direção à Terra.
<b>F11</b>	A diferença é que Platão sabia que havia duas análises de fenômenos: a visível (mutável) e a inteligível (imutável), mas acreditava que devíamos analisar os fenômenos somente pelo modo inteligível, já Aristóteles utilizava os dois modos abrindo mais espaço assim para o modo visível e a observação.
<b>F5</b>	Platão observava a natureza com uma interpretação mais bela e harmônica, já Aristóteles tinha uma visão um pouco mais critica e estudava a natureza de uma forma mais racional, fora do campo estético.
<b>F17</b>	Platão, diferente de Aristóteles era mais idealista, acreditava fielmente na perfeição do circulo e tinha como base um forte valor estético enraizado.

**Quadro 59:** Exemplos de respostas para a Questão 9: O que você achou do curso?

<b>AValiação INDIVIDUAL II - TURMA E</b>	
<b>Avaliação sobre o curso.</b>	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>E23</b>	Acho extremamente importante para a minha formação completa.
<b>E24</b>	Enriqueceu meu conhecimento mais aprofundado sobre como a ciência se desenvolveu.
<b>E31</b>	Eu prefiro estudar nesse formato. E mais completo e fica mais fácil entender a teoria primeira e depois as fórmulas.
<b>E34</b>	Eu particularmente achei muito interessante <b>porque as aulas de física normalmente se resumem a cálculos</b> . Foi legal saber como as teorias se desenvolvem.
<b>F3</b>	Eu gostei pelo fato de conhecer o caminho que levou a ciência que conhecemos hoje, <b>entretanto senti falta de cálculos e da prática dos mesmos</b> .
<b>F5</b>	O fato de estudar a formação da teoria da gravitação universal foi ótimo, <b>ainda mais com o material disponibilizado</b> pela professora, <b>que ajudou muito durante as aulas de Física</b> .
<b>F6</b>	Eu particularmente achei muito interessante esse modelo de aula, porque normalmente as aulas de física se resumem a cálculos, e as últimas não foram assim. <b>Foi legal saber um pouco da teoria, de todos os pensamentos que vieram antes de Newton, a respeito da gravitação, pois nos faz compreender também a evolução da ciência</b> .
<b>F7</b>	Eu gostei do jeito que foi tratado os assuntos, estudando os pensamentos dos filósofos/físico em vez de só estudar as fórmulas e como usá-las. <b>Essa forma de aprendizagem permite a todos compreender o que se passava na cabeça deles e ajuda também a entender as fórmulas</b> .
<b>F17</b>	<b>Eu adorei a maneira no qual o tema foi apresentado, mostrando que a Ciência vai além de fórmulas e cálculos, mostrando a criatividade e a vida dos cientistas</b> , sem contar a preocupação mais que notável da professora com a aprendizagem dos estudantes.

Da análise das respostas dos estudantes, podemos afirmar que vários estudantes esboçaram mudanças significativas em direção a uma melhor compreensão acerca da construção do conhecimento científico. Desse modo, esses estudantes passam a perceber que a física, é muito mais que um amontoado de fórmulas e solução de exercícios e problemas. Muitos se surpreendem com a sucessão de diferentes concepções de mundo e das dificuldades de aceitação de uma proposta que se choca com a visão de mundo dominante em determinado período histórico. Pudemos vê-los refletindo e argumentando, e pelas colocações e dúvidas, consideramos que a abordagem histórico-epistemológica contribui para a visão que Gravitação também é Cultura no ensino médio, entre vários estudantes que passaram por esse curso.

## Capítulo 5: Considerações Finais

Uma das questões principais desta pesquisa foi materializar uma proposta que apresentasse a Gravitação Universal como um arcabouço cultural da humanidade.

Inspirados no trabalho de doutorado do professor João Zanetic, “Física também é Cultura”, partimos da premissa de que a Física no contexto escolar precisa sofrer uma reformulação de conteúdo e metodologia para que possa servir de instrumento efetivo de reflexão do cidadão contemporâneo.

Tendo em vista que é vital ultrapassarmos um ensino de física informativo, essencialmente formulista, o foco de nossa ação foi: enfatizar a física como um bem cultural humano, priorizando que a construção do conhecimento científico é um processo que se desenvolveu ao longo da história.

Acreditamos que compreender a multiplicidade de influências na construção do conhecimento científico, como as controvérsias e as crenças e valores dos cientistas, constitui contribuição fundamental para que os estudantes desenvolvam a “curiosidade epistemológica”.

Apoiamo-nos nas perspectivas freireana e zaneticana de educação para tratar da questão que motivou a pesquisa, que enunciaremos aqui novamente: *O enfoque histórico-epistemológico da física pode ser um caminho útil para problematizar a ideia de que Gravitação também é cultura no ensino médio?*

Em um primeiro momento, para respondê-la, foi necessário debruçarmos sobre o contexto de origem da História da Ciência. Assim, mapeando esse campo de conhecimento entendemos que a História da Ciência surgiu da interface entre diferentes esferas: epistemológica, historiográfica e sócio-histórica (ALFONSO-GOLDFARB, 2008, p. 9). Daí o que caracteriza uma pesquisa em história da ciência é a forma, elaboração, transformação e transmissão de conhecimentos nas três esferas citadas acima.

Nesse esquema de análise a perspectiva cultural se origina na intersecção entre as esferas epistemológica, historiográfica e sócio-histórica. E pelo seu próprio caráter interdisciplinar carrega múltiplos olhares em relação à ciência.

As considerações acima nos mostram que com essa visão de História da Ciência podemos estabelecer interfaces com tendências pedagógicas, o que implica um novo campo de conhecimento onde se situou o presente trabalho: o campo interdisciplinar História da Ciência e Ensino. Assim o que está na zona de fronteira entre a história da ciência dos historiadores e a história da ciência no ensino é o conhecimento físico para estudantes do ensino médio.

Sustentados por esses pressupostos buscamos, a partir da abordagem histórico-epistemológica, mostrar aos nossos estudantes a Gravitação como fruto da atividade humana, considerando o conhecimento científico como patrimônio cultural. Nossa principal intenção foi permitir que os estudantes reconhecessem e apreciassem o conhecimento científico como um bem cultural, da mesma forma que podem apreciar ou reconhecer uma música ou outro campo da arte.

Assim, elegemos no estudo da Gravitação alguns modelos discutindo seus limites e controvérsias, que de alguma forma ajudasse o estudante a se desfazer da imagem distorcida e caricata da ciência que usualmente é veiculada no contexto do Ensino Médio.

Para tal, foi necessário selecionar alguns episódios nos quais se evidenciassem os debates, as controvérsias científicas que levassem os estudantes a refletir acerca da Ciência e reconhecê-la como objeto de construção.

Diversos autores apontam a ausência de material didático adequado com enfoque histórico-epistemológico. (FREIRE et al, 2004, FORATO, 2009). Além disso, a gravitação universal tem sido excluída seja no ensino básico, como também no ensino superior (FREIRE et al, 2004, PRAXEDES,2010).

A partir daí, nosso primeiro objetivo foi elaborar um material histórico-epistemológico que contemplasse as diferentes teorias cosmológicas que, de alguma forma, contribuíram para que Newton realizasse a sua grande síntese que culminou na Gravitação Universal. A elaboração desse material didático foi embasada nas *Notas de Aula* de João Zanetic.

O material elaborado foi estruturado com objetivo de incorporar as diversas dimensões epistemológicas como parte de seu conteúdo, problematizando tanto os

valores externos como internos da ciência o que possibilitou contemplar os elementos culturais presentes na história da gravitação.

Assim, nossos resultados podem ser divididos em dois grandes eixos: a construção do material didático histórico-epistemológico e as análises das respostas dos estudantes realizadas durante o processo do curso através de discussões, entrevistas, trabalhos e avaliações escritas. Procuramos discutir como se articularam esses resultados e os principais desafios apontados na literatura quando nos propomos a concretizar a abordagem histórico-epistemológica no ensino médio. Também procuramos analisar a mediação do texto neste processo.

Para responder à questão da investigação, é importante retomar o caminho percorrido. Assim nos debruçamos inicialmente nas diferentes perspectivas historiográficas buscando articular a que melhor se ajustasse às necessidades pedagógicas de uma sala de aula. A partir dessa reflexão e em sintonia com diversos autores (FORATO, 2009, BELTRAN, 2014), elegemos uma abordagem historiográfica que propõe apresentar e contextualizar a ciência considerando-se não só as continuidades, mas também as rupturas, o contexto histórico-social do desenvolvimento das teorias.

Procuramos trazer para as aulas, os obstáculos conceituais e metodológicos que fazem parte do fazer científico. Nossa ação didática foi balizada pelos três momentos pedagógicos.

O objetivo da realização das atividades em sala de aula, não foi somente a aprendizagem dos conceitos científicos, mas permitir que os estudantes tivessem acesso a uma perspectiva cultural da ciência, problematizando a partir da abordagem histórico-epistemológica. Procuramos em suas respostas alguns elementos que trazem essa perspectiva cultural da Física.

Em sala de aula, os estudantes discutiram e apresentaram o que eles compreenderam através das entrevistas realizadas pela professora pesquisadora e das respostas escritas dos trabalhos e avaliações ao longo do curso proposto.

Dessa maneira, diante da análise dos diversos instrumentos de pesquisa procuramos fazer nossa análise cruzando algumas respostas do mesmo estudante, a

algumas questões diferentes, para esclarecer algumas contradições de seus posicionamentos.

A análise das respostas ao questionário inicial sinalizou como foi a evolução do estudante em relação a uma melhor do processo de construção do conhecimento científico – ou seja- dos aspectos, conceituais, históricos e epistemológicos, após a intervenção didática.

### **A Mediação do Material histórico-epistemológico: Uma breve consideração sobre a análise dos dados**

Ao longo da aplicação da sequência didática, pudemos identificar bons resultados em relação à contribuição do material histórico-epistemológico como uma ponte que favoreceu um diálogo crítico entre a cultura científica e o conhecimento prévio do estudante, permitindo e mostrando aproximações e associações entre a cultura cotidiana e a cultura científica.

Dessa forma, mediante a leitura do material, foi possível perceber que o texto foi mediador no processo da produção de significados pelos estudantes sobre a produção do conhecimento científico.

Considerando as respostas dos estudantes ao longo do curso e comparando-as com o Questionário Inicial, tivemos resultados que nos parecem promissores em relação à compreensão da Gravitação como cultura.

A título de exemplo, sem a pretensão de oferecer respostas simples, a um ambiente naturalmente complexo de uma sala de aula, trataremos brevemente nossas percepções de assimilação do conteúdo científico e epistemológico, que a nosso ver compõem os elementos culturais, presentes em algumas colocações dos estudantes nos diferentes instrumentos que utilizamos nesta pesquisa.

Quando o estudante diz que *“Copérnico não vendo sentido nas explicações dadas pelos geocentristas para explicar o sistema geocêntrico criou hipóteses com bases nas teorias geocêntricas para explicar uma visão onde a Terra não é o centro do Universo”* e diz que a **ciência como “a pintura, a música, a literatura e a religião são expressões de cultura, criatividade e imaginação, cada um com suas formas de**

*expressão e interpretação*”, ele fez as conexões necessárias para uma compreensão mais formativa e cultural da Física.

Nossa observação direta e impressões pessoais durante o curso mostraram que vários estudantes compreenderam que os cientistas são seres humanos que também têm dúvidas, de modo que as teorias científicas não são geradas no vazio, mas passam por todo um processo lento e não linear de desenvolvimento, fruto de um trabalho coletivo. Podemos inferir essa percepção, por exemplo, quando o estudante diz: “*No processo do desenvolvimento da gravitação, Newton leu e se apoiou na teoria dos cientistas que vieram antes dele. Para a formação da teoria da gravitação universal, as Leis de Kepler foram essenciais, e outras teorias também, como Copérnico, Galileu e Descartes*”.

Observamos também que durante o curso, os estudantes revisitavam alguns objetivos conceituais e epistemológicos já tratados no início do curso. Esse comportamento se repetiu em diversos momentos do curso. Por exemplo, estávamos já tratando o último texto, “*O Principio da Gravitação Universal*”, quando um estudante fez a seguinte colocação: “*(...) estudiosos tem pontos de vista diferentes, constatações e métodos diferentes, resultando em conclusões muito diferentes. Por exemplo... a visão de Aristóteles se baseava no geocentrismo e a visão de Copérnico no modelo heliocêntrico.*”

Percebemos que era principalmente através dos textos que os estudantes manifestavam as significações da leitura e discussões realizadas na sala de aula. Lembramos aqui que os estudantes liam o texto antes de qualquer explicação da professora, evitando que nossa autoridade como professora dirigisse a leitura ou a interpretação dos estudantes para determinados aspectos, segundo nossas expectativas.

Assim, consideramos a leitura dos textos pelo estudante para acessar essa compreensão mais cultural da Gravitação, um elemento chave para enriquecer a visão de ciência do estudante, para que ele próprio construísse a sua visão e pudesse tomar suas decisões como cidadão ao longo da vida. Destaco aqui que os comentários dos estudantes revelam, principalmente, sentimentos e valores aos quais dificilmente podemos ter acesso quando o único texto utilizado é o livro didático.

Contudo, a análise dos dados ao longo da sequência, resgatando o universo científico, no qual Aristóteles e Copérnico estavam inseridos ao elaborarem suas teorias astronômicas, fizeram emergir nos estudantes apontamentos mais atuais da área da Astronomia, como por exemplo, o modelo atual de universo, o buraco negro, etc.

Da análise podemos inferir que as dúvidas mais frequentes no texto, que geraram certo desconforto na aula, pela dificuldade que os estudantes apresentaram em sua compreensão, foram em relação ao modelo para explicar o movimento retrógrado dos planetas em torno da Terra, com os epiciclos e o deferente. A professora explicou que conforme os métodos e instrumentos de observação astronômica foram ficando mais refinados, as posições observadas passaram a diferir cada vez mais das posições previstas pelo paradigma geocêntrico. Percebemos que esses aspectos deveriam ter sido mais detalhados no material histórico-epistemológico. Para preencher essa lacuna, a professora procurou explicar melhor para minimizar as dúvidas, tanto do geocentrismo quanto do heliocentrismo.

Inferimos, a partir da análise, que a história da ciência, pode desempenhar um papel importante em ajudar os estudantes a desenvolver concepções mais adequadas do empreendimento científico. As discussões demonstraram que os estudantes apreciaram que o conhecimento científico não é um corpo estático de fatos e princípios, mas sempre num estado de fluxo, sempre aberto a novos questionamentos.

Nossas experiências diferenciadas nesse minicurso, ancoradas numa visão pedagógica que uniu formação científica e cultural nos animou a afirmar que é possível mostrar que a Gravitação também é cultura no Ensino Médio.

## Referências Bibliográficas

ABD-EL-KHALIC, Fouad; RAND, L. Bell; LEDERMAN, Norman. The natures of science and instructional practice: Making the unnatural. *Science Education*, 82 (4), p. 417- 437, 1998.

ABRANTES, Paulo. "Naturalismo epistemológico: introdução". In: Évora, F.; (eds.) *Cadernos de História e Filosofia da Ciência (CLE - UNICAMP)*, série 3, v. 8, n. 2, p. 7-26, 1998.

ADÚRIZ-BRAVO, A; IZQUIERDO, M; ESTANY, A. Uma proposta para estruturar la enseñanza de la Filosofía de la Ciência para el profesorado de Ciencias em formacion. *Ensenanza de las Ciencias*, v.20, n 3, p. 465-76, 2002.

ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. *O que é História da Ciência*. São Paulo: Brasiliense, 1994.

ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. “Como se daria a construção de áreas interface do saber?” *Kairós* 6, p. 55-56, 2003.

ALFONSO-GOLDFARB, Ana. Maria., FERRAZ, Marcia Helena. M. & BELTRAN, Maria. Helena. R. *O laboratório, a oficina e o ateliê: a arte de fazer o artificial*. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. (Org.). *Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. São Paulo: EDUC: Livraria Editora da Física: Fapesp, 2004.

ALFONSO-GOLDFARB, A. M., FERRAZ, M. H. M. & BELTRAN, M. H. R. A historiografia contemporânea e as ciências da matéria: uma longa rota cheia de percalços. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. (Org.). *Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. São Paulo: EDUC: Livraria Editora da Física: Fapesp, 2004.

ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria; BELTRAN, Maria Helena R.; SAITO, Fumikazu. *Centenário Simão Matias: Documentos, métodos e identidade da História da Ciência*. São Paulo:CESIMA/PUCSP, 2008.

ALLCHIN, D. How not to teach history in science, In: Finley, D. Allchin, D. R. ; S. Fifield (eds). *Proceedings of the Third International History, Philosophy, and Science Teaching Conference...*, Minneapolis: University of Minnesota, vol 1, p. 13-32, 1995.

ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education*. Dordrecht, v.13, n. 3, p.179 – 195, 2004.

ALLCHIN, D. Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. *Science Education*, v. 95, n. 3, p. 518-542, 2011.

ALMEIDA, Maria Jose P. M. ; SORPRESO, T. Dispositivo Analítico para a compreensão da leitura de diferentes Tipos Textuais: exemplos referentes à física. *Pró-Posições*, v. 22, p. 83-95, 2011.

AMARAL, Elisabete. A. *A Literatura e a História da Ciência no Ensino de Física: Um Estudo Exploratório*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - de Física – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ARTHURY, Luiz Henrique M. *A Cosmologia Moderna a Luz dos Elementos da Epistemologia de Lakatos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

ASSIS, André Kock T. *Uma nova Física*. São Paulo: Perspectiva, 176P,1998.

ÁVILA, Geraldo Geometria e Astronomia. Instituto de Matemática, UNICAMP, 2011.

BACHELARD, G. *O Racionalismo Aplicado*. Rio de Janeiro: Zahar Editoria, 244 p., 1977.

BACHELARD, G. *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BALDINATO, José Otávio; PORTO, Paulo Alves. *Variações da história da ciência no ensino de ciências*. In: *VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Florianópolis, SC, Anais do Congresso, 2007.

BALDINATO, José Otávio e PORTO, Paulo Alves. *Variações da história da ciência no ensino de ciências*. In: *VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Florianópolis, Santa Catarina. Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Belo Horizonte: ABRAPEC, 2008(a)

BALDINATO, José. Otávio. *A química segundo Michael Faraday: um caso de divulgação científica no século XIX*. 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado Interunidades em Ensino de Ciências) - Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BALDINATO, José Otávio e PORTO, Paulo .A.; “*Variações da história da ciência e a (pseudo-história de Michel Faraday)*”, em *História da Ciência e Ensino – Propostas, tendências e construção de interfaces*, São Paulo: Livraria da Física, 2009, pp. 80-85.

BALDINATO, José. Otavio. *Conhecendo a química: um estudo sobre obras de divulgação do início do século XIX*. 169 p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2015.

BARTH, M. *Eletromagnetic Induction Rediscovered Using Original Texts*. *Science & Education*, v.9, p. 375 – 87, 2000.

BASTOS, Fernando. História da Ciência e pesquisa em ensino de Ciências: breves considerações. In: NARDI, R. (org). Questões atuais no ensino de Ciências. 2ª edição. São Paulo: Escrituras, p. 49 – 58, 2009.

BASTOS, Fernando. Ensino de O Conteúdos de História e Filosofia da Ciência. *Revista Ciência e Educação*, v.5, n 1, p.55, 1988.

BELTRAN, Maria. Helena R. História da Ciência e Ensino: Abordagens Interdisciplinares. In: WITTER, G. P.; FUJIWARA, R. (Org.). Ensino de Ciências e Matemática. São Paulo: Ateliê Editorial..p. 179-208, 2009.

BELTRAN, Maria Helena Roxo; TRINDADE, Laís dos Santos. (Orgs). *História da Ciência: tópicos atuais*. São Paulo: CAPES/Ed. Livraria da Física, 2010.

BELTRAN, Maria Helena R.; FUMIKAZU, Saito; TRINDADE, Laís dos Santos P. Trindade. *História da Ciência para a formação de professores*. São Paulo:Livraria da Física, 2014.

BELTRAN, Maria Helena Roxo.; SAITO, Fumikazu.; TRINDADE, Laís dos Santos Pinto. História da Ciência para formação de professores. São Paulo: Editora Livraria da Física, 128 p., 2014.

BELTRAN, M.aria Helena; SAITO, Fumikazu. Algumas Propostas para Contribuir na Formação do Cidadão Crítico. In: BELTRAN, Maria Helena R.; TRINDADE, Laís dos Santos Pinto R. (Org.). História da Ciência e Ensino; Abordagens Interdisciplinares. São Paulo: Editora Livraria da Física, p. 17-38, 2017.

BERNAL, J. D. Science in history. London: Penguin Books, v. 1, 1965.

BRAGA, M; GUERRA, J .F., REIS, J.C. Newton e o triunfo do Mecanicismo, São Paulo, 1999. (Ciência no tempo)., 1999.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C.. Breve história da ciência moderna, volume 3: Das luzes ao sonho do doutor Frankenstein. 2ª ed. Rio de janeiro: Zahar, 2011.

BRASIL. Ministério da Educação. Guia de Livros Didáticos PNLD 2012, Física, Ensino Médio, Brasília, 2011.

BRASIL. Guia de Livros Didáticos PNLD 2015, Física, Ensino Médio, 2014.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Básica (SEB), Departamento de Políticas de Ensino Médio. *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio: Parte III – Ciências da Natureza*. Brasília, Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 1999.

BRASIL, Ministério da Educação (MEC). Secretaria de Educação Básica. *PCN + Ensino Médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília:MEC, 2000.(Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais),

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Básica (SEB), Departamento de Políticas de Ensino Médio. *PCN+, Ensino Médio, Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília, Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002.

BRUSH, Stephen G. History of science and science education. *Interchange* 20 (2): 60-70, 1989.

BUTTERFIELD, Herbert. *As origens da ciência moderna*. Lisboa; Rio de Janeiro: Edições 70, 1992 (Coleção Perfil. História das ideias e do pensamento).

CALDEIRA, A.M.A. Didática e epistemologia da Biologia. In: Caldeira, A.M.A.; Araújo, E.S.N.N. *Introdução à didática da Biologia*. São Paulo: Escrituras, pp.73-86, 2009.

CANAVARRO *O. que se pensa sobre a ciência*. Coimbra:Quarteto,2000.

CANDOTTI, Ennio. Prefácio. In: MARTINS, A. F. P. *Física ainda é Cultura?* São Paulo: Livraria da Física, p. 13–18, 2009.

CARVALHO, Ana Maria P.; VANNUCCHI, Andréa Infantsi. History, Philosophy and Science Teaching: some answers to “how”? *Science & Education*, Dordrecht, v.9, n. 5, p. 427-448, 2000.

CASTRO, Ruth Schimitz de. Investigando as contribuições da Epistemologia e da História das Ciências: de volta ao passado. In: GATTI, Sandra Regina T.; NARDI, Roberto. (orgs). *A História e a Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências: A pesquisa e suas contribuições para a prática pedagógica em sala de aula*. São Paulo: Escrituras Editora, p.29-52, 2016.

CAVICCHI, E.M. Historical experiments in students’ hands: um fragmenting Science through action and History. *Science & Education*, v. 17, n.7. p. 717-49, 2008.

CHANG, H. How historical experiments can improve scientific knowledge and Science education: the cases of boiling water and electrochemistry. *Science & Education*, 20(3–4), 317–41, 2011.

CHAUI, Marilena. *Convite à filosofia*. 12.ed. SÃO PAULO: Ática, 2002.

COHEN, B. I. *O nascimento de uma nova Física: de Copérnico a Newton*. São Paulo: Edart, 1967.

COHEN, I. Bernard, 1978, *Introduction to Newton's 'Principia'*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press.

COHEN, I. Bernard *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas*. Tradução: Carlos Solís Santos. Madrid: Alianza Editorial, 1983. 425p.

COHEN, I. Bernard. *O nascimento de uma nova Física*. Tradução: Maria Alice Gomes da Costa. Lisboa: Gradiva, 305 p. 1988.

COHEN, I. Bernard; WESTFAL, R. S. Newton. Textos, Antecedentes, Comentários. Editora UERJ. Contraponto, 2002.

COMTE, Auguste. *Curso de filosofia positiva*: São Paulo: Abril Cultural, 1978 (Os Pensadores).

COPÉRNICO, Nicolau. *As Revoluções dos Orbes Celestes*. Fundação Calouste Gubenkian, Lisboa, 1984

COPÉRNICO, Nicolau. *Commentariolus. Pequeno Comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes*. Tradução e notas Roberto de Andrade Martins, Editora Livraria da Física, 179 p, 2003.

D'AMBROSIO, Ubiratan. *Tendências historiográficas na história da ciência*. In: ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria; BELTRAN, Maria Helena Roxo (orgs). *Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. São Paulo: EDUC/Livraria Editora da Física/Fapesp, p. 165- 200, 2004.

DANIEL, Gilmar Praxedes. *História da Ciência Em Um Curso De Licenciatura em Física: A Gravitação Newtoniana e a Gravitação Einsteiniana como exemplares*. Tese de doutorado. Programa de Pós- Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

DELIZOICOV, Demétrio. *Concepção problematizadora do ensino de ciências na educação formal: relato e análise de uma prática educacional na Guiné Bissau*. 1982. 227 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

DELIZOICOV, Demétrio. *Ensino de Física e a Concepção Freireana de Educação*. *Revista de Ensino de Física*, v. 5, n. 2, p. 85-98, 1983.

DELIZOICOV, Demétrio. *Conhecimento, Tensões e Transições*. 210f. Tese de doutorado. Faculdade da Educação da Universidade de São Paulo, 1991.

DELIZOICOV, Demétrio. *Problemas e Problematizações*. In: PIETROCOLA, Maurício (org.). *Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora da UFSC, p.125-150, 2001.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. São Paulo: Cortez, 2002.

DELIZOICOV, Demétrio. *Ensino de Ciências: Fundamentos e métodos*. -3. ed. São Paulo: Cortez, 2009.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.; PERNAMBUCO, M. M. C. A. *Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos*. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

DELIZOICOV, D. *La Educación en Ciencias y la Perspectiva de Paulo Freire*. *Alexandria - Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v.1, n.2, p.37-62, 2008. Disponível em: <http://www.ppgect.ufsc.br/alexandriarevista/index.htm>. Acesso em 14 de dezembro de 2016.

DEYLOT, Mônica E. C. *Ler Palavras, Conceitos e o Mundo: o desafio de entrelaçar duas culturas em um convite à física*. Dissertação de Mestrado –USP: São Paulo, 2005

DIAS, P. M. C.  $F = ma$ ?!! O nascimento da lei Dinâmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 2, p. 205-234, 2006.

DOBBS, B. J. T. *The Foundations of Newton's Alchemy*. Cambridge: University Press, 1974.

DUARTE, Newton. Formação do indivíduo, consciência e alienação: o ser humano na psicologia de A. N. Leontiev. *Cad. CEDES Campinas*, SP. v. 24, n. 62, 2004.

DUHEM, Pierre. *La théorie Physique, son object et sa structure*. Paris: Vrin. DUGAS, René, 1988, *A History of Mechanics*, New York, Dover Books, 1981.

DUHEM, Pierre. Salvar os fenômenos: Ensaio sobre a noção de teoria física de Platão a Galileu. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência (suplemento 3)*. Tradução de Roberto Andrade Martins. Campinas: UNICAMP, 1984.

DRIVER, R. & OLDHAM, V.: 1986, A Constructivist Approach to Curriculum Development in Science, *Studies in Science Education* 13, 105-122, 1986.

DRIVER, Rosalind; MILLAR, Robin; SCOTT, Phil. *Young people's images of science*. Bristol: Open University Press, 1996

DRIVER, R. e NEWTON, P., *Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms*, ESERA Conference, Roma, 1997.

DRIVER, Rosalind.; NEWTON, Paul.; OSBORNE, Jonathan. “Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms”. *Science Education*, v. 84, n.3, p.287-312, 2000.

EL-HANI, Charbel Niño. Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior. p. 3-21, In: SILVA, Cibelle Celestino (org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.í

EVANGELISTA, Luiz Roberto. *Perspectivas em História da Física. Dos Babilônios à Síntese Newtoniana*. Editora Ciência Moderna, v. 1, 2011.

FITAS, Augusto José S. *História e Filosofia da Ciência (coletânea de textos)* (Primeira parte, a Axiomática), *Vértice*, 72, p. 61-68, 1996.

FITAS, Augusto José S. *Os Principia de Newton, alguns comentários*( Segunda Parte, A Gravitação, *Vértice*, 73,p.97-102, 1996.

FITAS, Augusto José dos Santos. *História e filosofia da ciência (coletânea de textos)*. Évora: Seminário Doutorado em História e Filosofia da Ciência, Universidade de Évora, 2011.

FORATO, Thaís C. M. *A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz*. Tese de Doutorado, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2009.

FORATO, Thaís C.M.; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, A.M. Historiografia e natureza da Ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, n1, p. 27 – 59, 2011.

FREIRE JR, Olival. A relevância da filosofia e da história das ciências para a formação dos professores de ciências. In: SILVA FILHO, W. J. et al. *Epistemologia e Ensino de Ciências*. Salvador: Ed. Arcádia, p. 13-30, 2002.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia do oprimido*, Rio de Janeiro. Paz e Terra, 1975.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia do Oprimido*. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FREIRE, P. *Pedagogia da Esperança: um reencontro com a Pedagogia do Oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1992.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Editora Paz e Terra, 1996.

FREIRE, P. *Educação e atualidade brasileira*. 3. Ed. São Paulo: Cortez; Instituto Paulo Freire, 2003.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia do oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.

GARIK, Peter; YANN. Benetreau – Dupin. Report on a Boston University Conference December 7-8, 2012 on How can the History and philosophy of science contribute to contemporary US science teaching? *Science & Education*, p. 1853-1873, 2014.

GATTI, Sandra Regina T; SILVA, Dirceu da; NARDI, Roberto. História da Ciência no ensino de Física: um estudo sobre o ensino de atração gravitacional desenvolvido com futuros professores. *Investigações em Ensino de Ciências*, v 15, n. 1. p.7-59, 2010.

GEBARA, M. J. F. *O Ensino E A Aprendizagem de Física: Contribuições da História da Ciência e do Movimento das Concepções Alternativas. Um estudo de caso*. Campinas: UNICAMP, 2001.

GEHLEN, Simoni Tomohlen. *Temas e Situações Significativas no Ensino de Ciências: Contribuições de Freire e Vigotski*. Dissertação de mestrado. Ijuí: Ed. Unijuí, 200. (Dissertação), 2006.

GHELEN, Simoni Tomohlen. *A função do problema no processo-aprendizagem de ciências: contribuições de Freire e Vygotsky*. Tese de doutorado. 253 f. Programa de Pós Graduação de Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

GIL PÉREZ, Daniel; MONTORO, Isabel Fernandez; ALIS, Jaime Carrascosa; CAPACHUZ, Antonio; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência e Educação*, v.7, n 2, p. 25-153, 2001.

GILBERT, William. De Magnete, New York, Dover Pub. JAMMER, Max, 1957. Concepts of Force, 1957.

GUERRA, Andreia et al. *A Interdisciplinaridade no Ensino das Ciências a Partir de Uma Perspectiva Histórico-Filosófica*. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.15, n.1, p. 32-46, 1998.3<sup>o</sup> edição, 1994.

GUERRA, Andreia.; REIS, José Carlos; BRAGA, M. A. B. Um, na abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no Ensino Médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, n. 2, p. 224-48, 2004

GUERRA, Andreia; REIS, José Cláudio; BRAGA, Marco. History, philosophy and science in a social perspective: a pedagogical project. *Science & Education*, Dordrecht, v. 20, n. 1, p. 1485- 1503, 2013.

HENRIQUE, Alexandre Bagdonas. *Discutindo a Natureza da Ciência a partir de Episódios da História ds Cosmologia*. Dissertação ( Mestrado em Educação) – Universidade de São Paulo, 2011.

HODSON, Derek. *Teaching and learning about science: Language, theories, methods, history, traditions and values*. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2009.

HOLTON, G.: 1978, On the Educational Philosophy of the Project Physics Course, in his *The Scientific Imagination: Case Studies*, Cambridge University Press, Cambridge.

HÖTTECKE, Dietmar; SILVA; Cibelle Celestino. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles *Science & Education* vol 20, nº 3-4, 2011.

HOTTECKE, Dietmar.; HENKE, A.; RIESS, F. Implementing History and Philosophy in Science Teaching: strategies, methods, results and experiences from the European HIPST Project. *Science & Education*, p. 1–29, 2010.

HULSENDERGER, M. J.V. A. História da Ciência no ensino da Termodinâmica: um outro olhar sobre o ensino de Física, *Ensaio* v. 9, n.2, 2007.

IRZIK, Gürol e NOLA, Robert. A family resemblance approach to the nature of science for science education, *Science & Education*, v. 20, 2011.

KEMPER, E. *A inserção de Tópicos de Astronomia como motivação para o estudo da mecânica em uma abordagem epistemológica para o ensino médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KLEIN, M. *The use and abuse of historical teaching in physics*. In BRUSH, S. G.; KING, A. L., eds. History in the teaching of physics. Hanover (EUA): University Press of New England, 1972.

KNIGHT, David. *Trabalhando à luz de duas culturas*. In: GOLDFARB, A. M. (Org). *Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. Editora Livraria da Física, p.17-30, 2006.

KOESTLER, A. *O homem e o universo*. São Paulo: IBRASA, 1989.

KOYRÉ, Alexandre. *Do mundo fechado ao universo infinito*. Rio de Janeiro; São Paulo: Forense Universitária; Ed. da Usp, 1979. 290 p. (Campo teórico).

KOYRÉ, Alexandre. Galileu e a Revolução Científica do século XVII. In: *Estudos de história do pensamento científico*. 2ª Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1991, p.181-196 (Campo teórico).

KOYRÉ, Alexandre. *Estudos de história do pensamento científico*. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1991.

KOYRÉ, Alexandre. *Estudos galilaicos*. Lisboa: Dom Quixote.(Nova Enciclopédia; 28), 1992.

KUHN, Thomas Samuel .*Estrutura das Revoluções Científicas*, S.P. Editora Perspectiva, 1982.

KUHN, Thomas Samuel. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1998.

KUHN, T. S. *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Trad. B. V. Boeira e N. Boeira. Ed. Perspectiva, São Paulo, 1990

KUHN, Thomas. *A Revolução Copernicana*. Tradução de Marília Costa Fontes. Lisboa: Edições 70, 1990. 331 p.

LEDERMAN, Norman . G. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 26, n. 9, p. 771-783, 1992.

LEDERMAN, Norman. *Handbook of research on science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2007. p. 831-880.

LEITE, Sérgio Correia. *Racionalidade científica e imaginação poética: a busca por novas demandas educacionais no Ensino Médio*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Instituto de Física – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

LEMKE, J. L. *Aprender a hablar ciencia: lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós, 1997.

MACH, Ernst. *The Science of Mechanics*. (Tradução. T.J. Mc-Cormack, 6th English ed.) La Salle, Illinois, The Open Court Publishing Company, 1974.

MARTINS, Andre. Ferrer P. História e Filosofia da Ciência no Ensino: o que pensam os licenciandos em Física da UFRN. In: *ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, V, Bauru. Atas, 2005.

MARTINS, André Ferrer. P. História e Filosofia da Ciência no Ensino: há muitas pedras nesse caminho... *Cad. Bras. Ens. Fis.*, v. 24, n. 1: p. 112-131, abr. 2007.

MARTINS, André Ferrer. P. (Org),. *Física ainda é cultura?* Editora Livraria da Física, 2009.

MARTINS, Liliam Al Chueyr Pereira. História da ciência: objetos, métodos e problemas. *Ciência e Educação*, v 11, n.2,p.305-317, 2005. Disponível em:<<http://WWW.scielo.br/pdf/ciedu/v11n2/10.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

MARTINS, Roberto de Andrade. Sobre o papel da história da ciência no ensino. *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, v.9, p. 3-5, 1990.

MARTINS, Roberto de Andrade. *O universo: teorias sobre sua origem e evolução*. Ed. Moderna, São Paulo, 1994.

MARTINS, Roberto A. Arquimedes e a coroa do rei: problemas históricos. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 17, n. 2, p. 115–21, 2000.

MARTINS, Roberto A. Como não escrever sobre história da física – um manifesto historiográfico. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 23(1): p.113-129, 2001.

MARTINS, Roberto de Andrade. História e história da ciência: encontros e desencontros. *Actas do 1º Congresso Luso-Brasileiro de História da Ciência e da Técnica* (Universidade de Évora e Universidade de Aveiro). Évora: Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência da Universidade de Évora, 2001, p.11-46. Também disponível em: <http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-86.pdf>.

MARTINS, Roberto de Andrade. Ciência versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência. In:GOLDFARB, Ana Maria Alfonso (Org). *Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a história das Ciências e seus usos na Educação. In: SILVA, Cibelle Celestino. (Org). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, p. XVII-XXX, 2006 a.

MARTINS, Roberto de Andrade . A maçã de Newton: lendas e história. In: SILVA, C. C. (Org). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006b, p. 167-190, 2006b.

MARTINS, Roberto de Andrade. *O universo: teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Moderna. 4. Ed. 1996. Disponível em versão eletrônica no site da Universidade de Campinas, 2012. WWW. ifi. Unicamp.br/ ~ghtc/Universo/.Acesso em janeiro de 2017.

- MARTINS, Roberto de Andrade; SILVA, Cibele Celestino and Prestes, Maria Elice Brezezinski. History and Philosophy of Science in Science Education, in Brazil in *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, pp. 2271-2299. Springer Netherlands, 2014.
- MARTINEZ, S.; GUILLAUMIN, G. *História, Filosofia y enseñanza de las Ciencias*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, 2005.
- MATTHEWS, Michael R. A brief review. *Synthese* 80: 1-8, 1989.
- MATTHEWS, Michael R. History, philosophy, and science teaching: the present rapprochement. *Science and Education* 1(1): p. 11-42, 1992.
- MATTHEWS, M. *Science Teaching: the role of history and philosophy of science*. New York: Routledge, 1994.
- MATTHEWS, Michael 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.
- MATTHEWS, Michael. El constructivismo em la enseñanza de la Ciencias. In: MARTÍNEZ, S; GUILLAUMIN, G. *Historia, Filosofia y enseñanza de las Ciencias*. México: Universidad Autónoma de México, p.419-60, 2005.
- MCCOMAS, William F.; ALMAZROA, Hiya. The Nature of Science in Science Education: An Introduction, *Science Education*, 7: p.511-532, 1998.
- MCCOMAS, William F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education*, v.17, p.249-263, 2008.
- MECKE, K. R. *A Imagem da Literatura na Física*. *Gazeta de Física*, nov. 2004. Disponível em <<http://www.theorie1.physik.uni-erlangen.de/mecke/publ.html>>. Acesso em: 25 maio 2015.
- MENEZES, Luis Carlos O. Uma nova Física para o Ensino Médio. In; *Física na Escola*, v.1, n.1, 2000.
- MONK, M.; OSBORNE, J. F. Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy. *Science Education*, v. 81, n. 4, p. 405- 424, 1997. National Curriculum Council: 1988, *Science in the National Curriculum*, NCC, York.
- MUECHEN, Cristiane e DELIZOICO, Demétrio. *Os Três Momentos Pedagógicos: Um olhar Histórico-Epistemológico*. XII Encontro de Pesquisa e Ensino de Física. Águas de Lindóia/SP, 2010.
- NEWTON, Isaac. *Principia: princípios matemáticos da filosofia natural – Livro I*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.
- NEWTON, I. Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural. In: HAWKING, S. *Os Gênios da Ciência: sobre os Ombros de Gigantes*. Tradução: Sergio M. Dutra. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 441-638, 2005.

NEWTON, Isaac. *Principia: princípios matemáticos da filosofia natural - Livros II, III e O sistema do mundo*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

OKI, Maria da Conceição Marinho. *História da Química possibilitando o conhecimento da natureza da ciência e uma abordagem contextualizada de conceitos químicos: um estudo de caso numa disciplina do curso de Química da UFBA*. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 430 f, 2006.

OLIVEIRA, Neusa Raquel. *A presença do teatro no Ensino de Física*, São Paulo: USP, . Dissertação de Mestrado 2004.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLLA, M.(Org). *Ensino de física: conteúdo, metodologia, epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora UFSC, p.236-250, 2001.

PEDUZZI, L. O. Q. Contribuições da epistemologia Bachelariana no estudo da história da ótica. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 13, n. 1, p. 99-126, 2007.

PEDUZZI, L. O. Q. *Da Física e da Cosmologia de Descartes à Gravitação Newtoniana*. Publicação interna. Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 109 p, 2008.

PESSOA JR., O. Quando a abordagem histórica deve ser usada no ensino de ciências? *Ciência & Ensino*, v.1, outubro de 1996.

PIASSI, Luis Paulo de Carvalho.; PIETROCOLA, Mauricio . De olho no futuro: ficção científica para debater questões sociopolíticas de ciência e tecnologia em sala de aula. *Ciência e Ensino*, v. 1, n. especial, 2007.

PIASSI, Luís P. e PIETROCOLA, Maurício. Primeiro Contato: ficção científica para abordar os limites do conhecido em sala de aula. São Luiz, *XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 2007.

PORTO, C.M e PORTO, M.B.D.S.M. Galileu, Descartes e elaboração do princípio da inércia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 2009, v.31, p. 4601-4610, 2009.

PORTO, Paulo Porto. História e filosofia da ciência no ensino de química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In: SANTOS, W.L.P.; MALDANER, O.A .(Org). *Ensino de química em foco*. Ijuí: Editora Unijuí, p. 159 -180 2010.

PRESTES, Maria Elice; CALDEIRA, Ana Maria. Introdução. A importância da história da ciência na educação científica. *Filosofia e História da Biologia*, v. 4, p. 1-19, 2009.

*PSSC - Physical Science Study Committee. Physics*. Boston: D.C. Heath, 1960

RICARDO, Elio C. *Competências, Interdisciplinaridade e Contextualização: dos Parâmetros Curriculares Nacionais a uma compreensão para o ensino das ciências*. (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas – PPGECT, Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2005.

- RUFATTO, C. A.; CARNEIRO, M. C. A importância da história e da filosofia da ciência para o ensino de ciências. In: CARNEIRO, M. C. (Org.). *História e filosofia das ciências e o ensino de ciências*. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2011. p. 30–53.
- RUSSEL, T. L.: 1981, What History of Science, How Much and Why? *Science Education* 65, 51-64.
- SANTOS, J.M. *História da Ciência no Ensino – Aprender com os Museus*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 2002.
- SANTOS, Maria Eduarda Vaz Muniz. *Ciência como cultura - paradigmas e implicações epistemológicas na educação científica escolar*. Química Nova, v. 32, n. 2, p. 530-537, 2009.
- SANTOS, Ana Flávia. “Lavoisier nos Livros Didáticos: Uma Análise à Luz da História da Ciência”. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica São Paulo, 2015.
- SASSERON, L.H. e CARVALHO, A.M.P., “Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de Alfabetização Científica e o padrão de Toulmin”. *Ciência & Educação*, v.17, n.1, 2011.
- SCHEMBERG, Mário. *Pensando a física*. Ed. Brasiliense, São Paulo, 1984.
- SNOW, C.P. *The two cultures and Scientific revolution*. Nova York, Cambridge University Press, 1959.
- SNOW, Charles *As duas culturas e uma segunda leitura*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1995.
- SNYDERS, George. *A alegria na escola*. São Paulo. Editora Manole, 1988.
- STANNARD, R. *O tempo e o espaço do tio Albert*. Traduzido por A. M. dos Santos e Christopher Aurette. Lisboa, Edições 70, 1992, 142p. Título original.”The Time and Space of Uncle Albert.
- STINNER, Arthur et al. The Renewal of Cases Studies in Science Education. *Science & Education*, 12, p. 617, 2003.
- TATON, René (Dir.). *As ciências antigas do oriente*. Tradução de Ruy Fausto. São Paulo: Difusão Européia do Livro, 1959. (História Geral das Ciências; A Ciência Antiga e Medieval, 1).
- TEIXEIRA, Elder Sales. *Argumentação e Abordagem contextual No Ensino de Física*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.
- TEIXEIRA, Elder Sales e SANTOS, Josebel. Maia dos. Integrando a História e Filosofia da Ciência ao Ensino de Física: uma proposta a partir da gravitação universal

de Newton. In: SILVA, Ana Paula. (Org). *História da Ciência e Ensino: Propostas para sala de aula*. São Paulo: Editora Livraria da Física, p. 47-104, 2018.

TEODORO, Sandra Regina. A história da ciência e as concepções alternativas de estudantes como subsídios para o planejamento de um curso sobre atração gravitacional. (Dissertação de Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2000.

VIDEIRA, Antônio Augusto. P. Historiografia e história da ciência. Escritos. Revista da Casa de Rui Barbosa, p111-58, 2007. [www.casaruibarbosa.gov.br/escritos/número01/FCRB\\_Escritos\\_1\\_6\\_Antonio\\_Augusto\\_Passos\\_Videira.pdf](http://www.casaruibarbosa.gov.br/escritos/número01/FCRB_Escritos_1_6_Antonio_Augusto_Passos_Videira.pdf). Acesso em dezembro de 2017.

VIEIRA, C. L. & Videira, A. A. P. Reflexões sobre historiografia e história da física no Brasil. São Paulo: Livraria da Física Editora, 2010.

WANG, Hsingchi .A; MARSH, David. D. Science instruction with a humanistic twist: teachers' perception and practice in using the History of Science in their classrooms. *Science & Education*, Dordrecht, Holanda, n. 11, p. 169-189, 2002.

WESTFALL, R. S. *Force in Newton's Physics*. London: MacDonald; New York: American Elsevier, 1971.

WESTFALL, R. S. *A vida de Isaac Newton*. Tradução: Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

WHITAKER, M. A. B. History and quasi-history in physics education: part I. *Physics Education*, Bristol, v. 14, n. 2, p. 10-112, 1979a.

WHITAKER, M. A. B. History and quasi-history in physics education: part II. *Physics Education*, Bristol, v. 14, n. 3, p. 239-242, 1979b.

WHITAKER, M. A. B. (1979). History and quasi-history in physics education – part 1. *Physics Education* 14, pp. 108-112

WHITAKER, M.A.B. “History and quasi-history in physics education”. *Physics Education*, 14, 108-112 (Part I), 239-242 (Part II). 1979.

WHITESIDE, D. T. Newton's early thoughts on planetary motion: A fresh look. *The British Journal for the History of Science*, v. 2, n. 6, p. 117-137, 1964.

ZANETIC, João. A Propósito do Artigo de B. Hessen Sobre O 'Principia' de Newton. *Revista de Ensino de Física*, v. 6, n.1, p. 33-36, 1984.

ZANETIC, João. Dos “Principia” da mecânica aos “Principia” de Newton. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 5, (Número Especial), 23-35, 1988.

ZANETIC, João. *Física também é cultura*. Tese de Doutorado. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1989.

ZANETIC, João. *Qual o papel da ciência na formação básica?* Atas do IX Simpósio Nacional de Ensino de Física, SBF, 1991.

ZANETIC, João. Física e literatura: uma possível integração no ensino. Cadernos Cedes: Ensino da Ciência, Leitura e Literatura, 41, 1997, p. 46/61. ZANETIC, João. Literatura e cultura científica. In: ALMEIDA, Maria José P. M. de; SILVA, Henrique César da (orgs.). *Linguagens, leituras e ensino da ciência*. Campinas: Mercado de Letras, p. 11-36, 1998.

ZANETIC, João. Física e cultura. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 57, n. 3, 2005.

ZANETIC, João. *Notas de aula da disciplina FEP 156 – Gravitação*, ministrada no Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2007.

ZANETIC, João. *Notas de aula da disciplina FEP156- Gravitação* ministrada no Instituto de Física da Universidade de São Paulo, no primeiro semestre de 2007. [revisada em outubro de 2015]

ZANETIC, João; MOZENA, Erika Regina. *Notas de aula da disciplina FMT 405 - Evolução dos Conceitos da Física*, ministrada no Instituto de Física da Universidade de São Paulo, no primeiro semestre de 2009.

ZIMAN, J. *Conhecimento público*. Belo Horizonte: Editora Itatiaia Limitada, 1979.



## **Anexo I – Texto dos Estudantes**



**INSTITUTO DE FÍSICA/USP**

**DA QUEDA DOS GRAVES À QUEDA DA LUA**

**Prof. Dr. João Zanetic**  
**Elisabete Aparecida do Amaral**

**São Paulo**

**2017**

## SUMÁRIO

Texto 1 - A Saga Inicial: Um pouco de história e filosofia.....	241
1.1 Introdução .....	241
1.2 Filósofos gregos .....	242
Texto 2 - Por que as coisas pesadas caem?.....	244
2.1 Introdução .....	244
2.2 A forma e o movimento dos corpos celestes: Platão .....	244
2.3 O Universo de Aristóteles .....	246
2.4 O Céu de Aristóteles .....	247
Texto 3 - Preparando o terreno ....	251
Texto 4 - As contribuições de Tycho Brahe, Kepler, Giordano Bruno e Galileu,.....	256
4.1 Contexto histórico - cultural .....	256
Texto 5 - Os defensores do sistema copernicano: Giordano Bruno e Galileu Galilei .	259
5.1 Giordano Bruno e a Infinitude do Universo.....	259
5.2 Galileu Galilei .....	259
Texto 6 - As contribuições de Tycho Brahe e Johannes Kepler.....	264
Texto 7 - Os caminhos de Newton para os “Principia” (Princípios) .....	268
7.1 Introdução .....	268
7.2 Os Princípios de Isaac Newton .....	269
7.3 O caminho para chegar ao princípio da Gravitação Universal .....	270
7.4 A Gravitação Universal.....	271
7.5 O princípio da Gravitação Universal .....	272
7.6 A Queda Da Lua .....	273

Da queda dos graves à queda da Lua

## **Texto 1 - A Saga Inicial: Um pouco de história e filosofia...**

### **1.1 Introdução**

Quem nunca apreciou uma noite de céu estrelado e se perguntou o que existe além daqueles pontinhos.

Desde os tempos mais remotos, a humanidade tem curiosidade em saber quais mecanismos estão por trás dos fenômenos que enxergamos no céu luminosos? Sobre essas e muitas outras questões também se perguntam os físicos e astrônomos que estudam o Universo. As mais variadas motivações levaram povos antigos a procurar entender, cada um a seu modo, fenômenos observados no céu. A necessidade de se alimentar, de se proteger das mudanças climáticas, ao lado de outras razões como o deslumbramento diante do firmamento celeste, a busca de comunicação com os outros, foram aos poucos sofisticando o imaginário da espécie humana (ZANETIC, 2007).

Muitos dos temas que hoje são estudados pela física já estavam presentes nas habilidades humanas primárias, predecessoras da técnica e são muito anteriores a qualquer tentativa sistemática de explicação. É muito difícil imaginar quando se construiu o primeiro utensílio doméstico de caça, o uso e o domínio do fogo, a degustação da primeira sopa, a utilização de velas nas embarcações e muito mais. No período marcado entre 8000 e 3000 a. C o ser humano passa a ter uma relação mais complexa com a natureza. Foi nesse período que surgem as primeiras cidades, os reservatórios de água e a utilização da agricultura para a alimentação.

Era necessário determinar as épocas mais convenientes para a semeadura e a colheita. Assim, associou-se a passagem do tempo com o movimento dos corpos celestes.

Tudo estava pronto para o surgimento de uma criação importantíssima para o posterior nascimento da ciência: o calendário. Os antigos egípcios, por exemplo, perceberam que a cheia do Rio Nilo ocorria “mais ou menos coincidentemente com a época em que Sirius nascia ao fim do crepúsculo. O intervalo de tempo entre duas repetições sucessivas do fenômeno durava cerca de 365 dias. Eles dividiram o período de um ano em três estações: enchente, semeadura e colheita” (ZANETIC, 2007, p.11).

Porém, motivações místicas ou mágicas eram dominantes no pensamento desses povos e também influenciaram na construção dos calendários e na correspondente observação dos corpos celestes.

Para esses povos antigos, o momento em que as estrelas e os planetas nasciam ou se punham não indicava apenas a época em que alguns fenômenos aconteciam. Mais que isso, eles acreditavam que as estrelas e, principalmente, os planetas, determinariam certas características humanas e certas ocorrências. Com base nesse pensamento e sua aplicação nasce a astrologia. Portanto, podemos afirmar que a astronomia desenvolveu-se pela combinação de interesses sócio – econômicos e místico - mágicos.

Muitos pensadores gregos foram fundamentais para o desenvolvimento de uma interpretação coerente dos fenômenos perceptíveis pelos sentidos que animavam sua imaginação. Esses pensadores concordavam em poucas coisas e havia hipóteses diferentes para explicar o mesmo fenômeno. Mas seu legado mais importante foi que eles foram os fundamentos do pensamento científico vindouro.

## 1.2 Filósofos gregos

Os antigos gregos que formulavam de forma racional perguntas para a natureza e tentavam respondê-las eram chamados *filósofos*. Muitos deles deixaram suas perguntas e respostas registradas em textos que foram lidos e discutidos durante muitos séculos depois. Por exemplo, no século VIII os árabes traduziram vários desses textos que animaram seus estudos astronômicos.

Um desses filósofos gregos, **Tales** de Mileto (624-546 AC), acreditava que a Terra era um disco circular que flutuava sobre a água. Ele formulou uma importante pergunta que influenciou o pensamento grego: **de que matéria prima era constituída o universo?** Tales respondeu que considerava a água o elemento básico do universo e responsável por tudo que nele existe. O filósofo inglês Bertrand Russell (1872 – 1970) fez o seguinte comentário a respeito da resposta desse filósofo grego: *“A afirmação de que tudo é feito de água deve ser encarada como uma hipótese científica e, de modo algum, como uma tolice”* (RUSSEL, 2015).

Outro importante filósofo da cidade de Mileto foi **Anaximandro** (611 - 546 A.C.). Ele ensinava que o principio de tudo que existia no universo era uma substância denominada apeíron, em grego. Anaximandro parece ter imaginado que apeíron era uma substância que supostamente servia de origem para todas as outras (MARTINS 2012, p.41).

Muitas outras interpretações da natureza surgiram nesse período por meio desses pensadores gregos e alguns deles foram os primeiros a propor uma representação matemática do mundo dos fenômenos. Estamos falando de **Pitágoras** (580-500 A.C).

### **Quem não conhece o famoso teorema de Pitágoras?**

Os pitagóricos estabeleceram uma ligação matemática entre o comprimento de uma corda esticada e o som que ela produz. O som é tanto mais agudo quanto mais curta é a corda, e se eleva de uma oitava se o comprimento da corda for reduzido à metade. Portanto, existia uma ligação entre as proporções numéricas e os harmônicos musicais. Essa descoberta levou os pitagóricos a pensar que a realidade poderia ser exprimível por proporções numéricas e em formas geométricas. Além disso, foram os primeiros a considerar esférica a forma da Terra e a imaginá-la em movimento.

Enquanto os pitagóricos se esforçavam em descrever a natureza com a ajuda da matemática, outros pensadores seguiram um caminho diferente. Um desses pensadores foi Empédocles (493 – 430 A.C). Ele afirmava que todos os fenômenos terrestres resultam de atrações e repulsões entre quatro elementos materiais: terra, água, ar e fogo. Mais tarde, um quinto elemento foi acrescentado ao sistema pelo filósofo Aristóteles: o éter, constituinte dos corpos celestes.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

MARTINS, Roberto de Andrade. *O universo: teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Moderna, 4. Ed. 1996. Disponível em: <[www.ifi.unicamp.br/~ghhc/Universo](http://www.ifi.unicamp.br/~ghhc/Universo)>. Acesso 23 ago 2017.

RUSSELL, Bertrand História da Filosofia Ocidental. Editora Nova Fronteira, 2015

ZANETIC, J. FEP 156. *Gravitação*, Notas de Aula, 2007.

## Texto 2 - Por que as coisas pesadas caem?

### 2.1 Introdução

Você já se perguntou por que um corpo cai? Por que a lua não cai sobre as nossas cabeças? Por que a Terra é esférica? Você deve ter respondido que é por causa da gravidade, certo? **Mas o que é gravidade?**

O termo em si vem do latim *gravitas*, formado a partir do adjetivo “**gravis**” que significa “**pesado**” também chamado de graves, ou seja, aquilo que faz com que as coisas caiam para baixo (MARTINS, 2006). Mas quem descobriu a **gravidade**? **E aqui começa nossa narrativa sobre a GRAVITAÇÃO.**

Conta a lenda que **Isaac Newton** (1642-1727), quando trabalhava na universidade de Cambridge, se refugiou da peste na propriedade de sua família e tendo adormecido embaixo de uma macieira, teria sido acordado pela queda de uma maçã sobre sua cabeça. **E** assim, ele teria descoberto a lei da gravidade! Será que se trata apenas de uma história inventada? Como surgiu essa lenda e como ela permaneceu até os dias atuais? Atualmente, muita gente resume a ideia gravitacional de Newton com essa lenda que não é verdadeira.

A Ciência, assim como a História, é feita por pessoas. Newton foi uma dessas pessoas que fizeram parte da história da gravitação. Nesse texto falaremos de alguns acontecimentos históricos da Gravitação e das pessoas que os protagonizaram. Assim, o nosso objetivo é encontrar os alicerces sobre os quais foi construído o conceito de gravidade. E esses alicerces começaram com os antigos filósofos gregos, por isso a eles retornamos.

### 2.2 A forma e o movimento dos corpos celestes: Platão

Os filósofos gregos refletiram sobre a origem do mundo e destacaram os elementos responsáveis pela sua formação e desenvolvimento (Martins, 1994). Uma questão que os preocupava era: ***que tipo de movimento os corpos celestes descrevem? Quais foram as suas primeiras hipóteses?***

Platão (427– 347 A.C) foi um desses pensadores. Ele nasceu na cidade de Atenas, na antiga Grécia. Dentre os diversos temas que ele abordou em sua filosofia estão o Conhecimento, a Educação e a Política.

Em nosso caso, estamos particularmente interessados no Conhecimento. Sobre esse tema Platão escreveu três trabalhos principais: *Teeteto*, *Timeu* e *República*. Ele escrevia no formato de diálogos, entre diversos personagens. No primeiro trabalho aborda o conhecimento de forma geral: no segundo trata principalmente do Universo e

no terceiro discute a criação de uma cidade ideal. É nesse último trabalho que podemos encontrar mais claramente como é a linha de pensamento de Platão sobre o conhecimento visível e o inteligível. Esses dois conceitos são muito importantes quando tratamos do conhecimento científico.

O visível e o inteligível para Platão são entendidos como as duas espécies de pensamento. O conhecimento visível é a crença pessoal, meramente uma opinião. Para Platão, esse tipo de pensamento não é nada seguro, pois está sujeito a mudança. Ao contrário do conhecimento inteligível, pois esse se apoia em construções baseadas na matemática que culminam nas ideias, ou seja, no pensamento puro.

Para Platão, não é somente a matemática que descreve um conhecimento verdadeiro sobre um determinado fenômeno. É preciso também formular hipóteses que não estão livres de crenças e outros valores. (CHALMERS, 1993, p.46-51)

Ao observar a queda de um grave (pedra) pode pensar em diferentes razões para a explicação desse fenômeno, por exemplo, você pode afirmar que o grave caiu porque você o largou. Outro aluno pode defender que a pedra caiu porque é natural que ela faça isso. Um terceiro aluno pode dizer que ela caiu porque você não a segurou com firmeza, e, portanto, ela escorregou de sua mão.

Como vemos a imagem da queda do grave pode sugerir diferentes explicações para aquele que observa o fenômeno. Por meio dos nossos sentidos apenas, não podemos concluir qual é a melhor explicação, isto é, se a pedra caiu porque a largamos, ou porque é natural ou ainda porque ela simplesmente escapou de nossas mãos.

Para Platão as explicações como as acima expostas, não passam de conhecimento visível ou do senso comum. No entanto, na linha platônica do mundo inteligível, ou mundo das ideias, da razão, podemos formular a hipótese que o grave caiu por causa da gravidade. Ou ainda, podemos formular a hipótese segura sobre o formato do grave. Se o grave tem aproximadamente o formato de uma esfera, ele poderia ser descrito através da geometria que nos forneceria um conhecimento seguro sobre o formato do grave livre das impressões de nossos sentidos.

Especialmente na *parte de seus Diálogos* conhecida como Timeu, Platão apresenta sua visão sobre o conhecimento e a imutabilidade das coisas. Em sua visão de Universo, Platão associa o inteligível ao imutável, enquanto que o visível corresponde ao mutável. Nessa linha de pensamento, a geometria tem um papel fundamental, pois permite que se comece a associar fenômenos desconhecidos observados no céu (corpos celestes) a interpretações matemáticas.

Assim, no século IV a.C, Platão lançou a ideia de um mundo esférico perfeito em que os corpos celestes executariam movimentos em círculos perfeitos. Foi dessa forma idealizada que ele explicou a forma esférica da Terra e o movimento dos corpos celestes. Assim lemos no Timeu que a “*a forma esférica, cujas extremidades estão todas a igual distância do centro, sendo esta forma circular a mais perfeita de todas e a mais semelhante a si mesma, pois ele imaginava que o semelhante é infinitamente mais belo que o dessemelhante.*” (PLATÃO, apud ZANETIC,2007,P.22)

Começou desse modo a hegemonia do círculo e da esfera, elementos que vão dominar o pensamento por cerca de dois mil anos, como veremos.

### 2.3 O Universo de Aristóteles

Outro importante filósofo grego foi Aristóteles de Estagira (384 -322 A.C), que foi aluno de Platão quando este estava escrevendo o Timeu. Aristóteles introduziu uma concepção de esfericidade da Terra muito mais elaborada que aquela apresentada por Platão, pois não ignora o empírico visível.

No pequeno trecho de seu tratado *Sobre o céu* reproduzido abaixo vemos como Aristóteles explicita a coincidência entre o centro do Universo, uma concepção idealizada, e o da Terra e introduz o lugar natural dos graves, com base na observação empírica, que representa uma primeira proposta gravitacional:

"(...) O mundo é único, solitário e completo. Não há nada, nem lugar, nem vazio, além dos céus (...) O movimento natural da Terra, como de suas partes, está dirigido para o centro do universo; esta é a razão de porque ela está nesse centro (...)assim, a Terra e o Universo têm o mesmo centro. (...) Os corpos pesados movem-se para o centro da Terra apenas porque seu centro está no centro do Universo. (...) Por isso, a Terra não se move (...) e o motivo dessa imobilidade é claro (...) É natural que o elemento Terra mova-se para o centro, como as observações mostram, assim como é natural que o elemento fogo mova-se para fora do centro (...). É impossível que uma porção de Terra se mova para fora do centro sem a ação de uma agente externo (...) Como porções iguais de Terra provém de todos os lados, as extremidades ficam à mesma distância do centro, por isso a forma da Terra só pode ser esférica (...)(ARISTÓTELES apud ZANETIC,2015)

Com base nessa citação, podemos notar que o movimento dos corpos pesados nesse universo aristotélico se dá radialmente, em direção ao centro do universo. E é devido a essa hipótese que a forma da Terra é esférica, composta pelos corpos pesados que caem de todos os lados para esse centro, e permanece para sempre parada no centro do universo. Dessa citação aprendemos também que o movimento natural do fogo é dirigido para fora do centro do universo.

Aristóteles retomou a teoria dos quatro elementos de Empédocles. Segundo ele, cada um desses elementos possui um “**lugar natural**”, ao qual procura espontaneamente chegar. Há portanto uma clara distinção entre o movimento natural dos corpos celestes que é supostamente **circular** e se movem em torno da Terra e o **movimento natural de corpos pesados** que caem radialmente em direção ao centro da Terra (e que coincide com o centro do Universo).

Todos os corpos pertencentes à Terra, quando em movimento não dirigido para o centro do universo, como uma pedra caindo, são dotados de movimento **violento** provocado por algum agente externo a eles. Daí a existência de dois tipos de movimento para Aristóteles: o natural e o violento. A pedra caindo é um movimento natural enquanto o movimento da pedra empurrada no chão ou o de uma pedra atirada são exemplos de movimento violento.

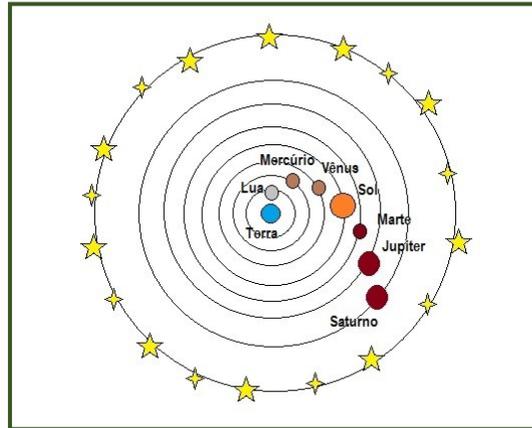
Outro aspecto importante do pensamento filosófico de Aristóteles diz respeito a divisão entre mundo terrestre e celeste. De acordo com Aristóteles, a região terrestre estaria sujeita a toda espécie de transformações e seria composta pelos quatro elementos - terra, água, ar e fogo. Essa região se estenderia até a esfera lunar. Acima da esfera lunar, a região celeste seria constituída por um quinto elemento – o éter. Nessa parte do cosmos aristotélico os movimentos existentes seriam circulares e uniformes.

Recusando as ideias pitagóricas sobre a importância da matemática, Aristóteles não usou a matemática em suas explicações e se concentrou apenas na interpretação dos fenômenos físicos.

## 2.4 O Céu de Aristóteles

Já vimos que uma das questões fundamentais para os filósofos gregos era entender os fenômenos da natureza. É claro que o que se via no céu também era de interesse desses pensadores.

Aristóteles mantinha a crença de que os planetas estavam associados a esferas concêntricas e transparentes, as esferas de cristal, centradas na Terra. Por esse motivo seu modelo é chamado de geocêntrico, como ilustra a **figura 1**. Esse universo fixo e imutável seria delimitado por uma última esfera, o firmamento, no qual se localizavam as estrelas fixas.



**Figura 1 – Representação simplificada do modelo cosmológico de Aristóteles.**

**Fonte: site: Sou Mais Enem Física**

Os aristotélicos consideravam que os corpos celestes executavam movimentos circulares em torno de uma Terra imóvel. Esse movimento circular era mantido pelas esferas cristalinas que giravam em torno da Terra. A partir dessa concepção de universo, foram construídos modelos geométricos que buscavam salvar a aparência do que era observado.

Mas nessa época outro pensador grego chamado **Aristarco de Samos** (320 - 250 A.C) propôs uma concepção completamente diferente da defendida por Aristóteles. Ele imaginou o Sol situado no centro do Universo e os demais corpos celestes, inclusive a Terra, em movimento orbital ao seu redor. Essa concepção foi completamente rejeitada na época e esquecida por quase dois mil anos, pois essa hipótese contrariava a doutrina vigente de que a Terra era diferente dos demais corpos celestes. E também porque contrariava o que se via acontecer: não se sente a Terra em movimento e a aparência, muito forte, é que a Lua, o Sol e os demais corpos celestes giram em torno da Terra.

Um difícil problema para os astrônomos geocentristas era a observação das trajetórias dos planetas ao redor da Terra que, em determinados períodos pareciam retroceder e depois avançar em seus movimentos circulares (**figura 2**). Além disso, os planetas apresentavam variações na intensidade do brilho ao longo do ano, o que desafiava a ideia de imutabilidade dos corpos celestes.

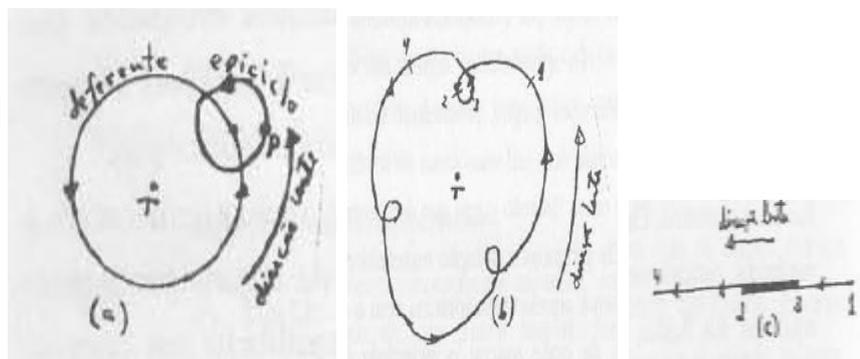


**Figura 2 - Movimento retrógrado de Marte. A imagem foi obtida pela sobreposição de fotografias registradas em 29 datas diferentes. Fonte: Nasa/ID/BR**

O resultado desse conflito foi a construção de modelos pelos astrônomos gregos cada vez mais complexos para explicar o que era observado. Mesmo as teorias mais recentes não conseguem explicar detalhadamente todas as minúcias de um fenômeno observado na natureza. Os conceitos científicos são idealizações de alguns aspectos selecionados das observações e da imaginação dos cientistas.

Apolônio (262 - 194 A.C) e Hiparco (190 – 120 A.C) propuseram um modelo geocêntrico mais bem sucedido na explicação do movimento retrógrado dos planetas, até aquela época.

Eles admitiam que cada planeta girava em torno de um ponto, descrevendo uma circunferência chamada epiciclo. O centro do epiciclo girava em torno de outro ponto, descrevendo uma circunferência maior chamada deferente. **(Figura 3)**



**Figura 3 – O sistema básico deferente-epiciclo. (b) O movimento aparente gerado pelo sistema deferente-epiciclo(c) Uma porção (1-2-3-4) do movimento visto por um observador situado na terra central. Fonte: Zanetic *apud* Kuhn, pág.14**

Esse modelo explicava as fases da Lua, os eclipses do Sol e da Lua, e era muito utilizado na localização de navios em alto mar a partir da posição das estrelas.

O astrônomo e matemático grego Ptolomeu, que viveu aproximadamente entre 90 e 168 DC, dedicou-se a articular esse paradigma realizando uma grande síntese da astronomia geocêntrica que reproduzia o movimento de todos os corpos celestes

conhecidos à sua época. É por isso que se costuma falar em paradigma aristotélico-ptolomaico.

Questões para pensar....

1. Como você imaginaria o movimento retrógrado dos planetas explicado pelo modelo heliocêntrico de Aristarco de Samos?
2. Por que motivos você acha que o modelo de Aristarco de Samos foi rejeitado?
3. Faça um breve resumo das causas principais que tornaram o paradigma aristotélico-ptolomaico bem aceito em sua época.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHALMERS, A. F. *O que é ciência, afinal?* Brasiliense, 1993.

MARTINS, Roberto de Andrade. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. [Newton's apple: history, myth, foolishness]. Pp. 167-189, in: SILVA, Cibelle Celestino (ed.). Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MARTINS, Roberto de Andrade. *O universo:teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Moderna, 4. Ed. 1996.  
Disponível:<[www.ifi.unicamp.br/~ghc/Universo/](http://www.ifi.unicamp.br/~ghc/Universo/)>. Acesso em: 15 set 2017.

PLATÃO. *Diálogos IV, Timeu*. Lisboa: Publicações Europa – América.

ZANETIC, J. FEP 156. *Gravitação*, notas de aula, 2007.

ZANETIC.J. o Ensino de Física Na Sociedade Contemporânea. In: Atas XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física –SNEF, 20, Uberlândia, MG.

SOTTO, Alfredo. Os personagens da teoria da gravitação. Disponível em: <http://soumaisenem.com.br/fisica/mecanica-e-o-funcionamento-do-universo/os-personagens-da-teoria-da-gravitacao> . acesso em: 07 dez 2017.

### Texto 3 - Preparando o terreno ....

Cristóvão Colombo (1451- 1506) descobriu a América em 1492, ano em que Nicolau Copérnico, jovem estudante, tinha dezoito anos. Copérnico nasceu na Polônia em 1473.

Era o período denominado Renascimento. Esse período foi marcado por grandes transformações nas artes, na economia e nas técnicas. A partir desse período, os estudiosos mudam radicalmente a sua forma de observar a natureza e passam a questionar conceitos estabelecidos por pensadores gregos, por exemplo, a velha técnica de salvar as aparências dos fenômenos. A força do paradigma aristotélico-ptolomaico estava na solução de alguns problemas práticos, como a localização no mar pela posição das estrelas e principalmente por embasar a aparente imobilidade da Terra que os sentidos confirmavam. Este último motivo era muito forte, pois o único candidato concorrente, na civilização grega, para substituir o paradigma geocêntrico era baseado no movimento da Terra (ZANETIC,2007, p.52).

Entretanto, no começo do século XVI, o astrônomo polonês Nicolau Copérnico desafiaria o sistema geocêntrico. Ele estudava a astronomia geocêntrica, pois trabalhava na elaboração de mapas celestes para localização no mar. Além disso, a astronomia voltava a desempenhar um papel importante na vida das pessoas, não somente por causa das grandes navegações, mas também devido ao desenvolvimento da astrologia. Estava sendo preparado o terreno para um grande acontecimento que levaria seu nome, **a revolução copernicana**. Vejamos a afirmação do físico e historiador da ciência **Thomas Kuhn** ao afirmar que:

A reforma astronômica não é, contudo, o único sentido da Revolução. Outras alterações radicais sobre o conhecimento da natureza seguiram-se à publicação do **De revolutionibus** de Copérnico, em 1543. Muitas dessas inovações, que culminaram, um século e meio depois, na concepção newtoniana de universo, foram subprodutos inesperados da teoria astronômica de Copérnico. (KUHN apud ZANETIC, 2007, p. 47).

É nesse contexto histórico que Copérnico viveu. Para nós, que temos o foco na questão **“Como o conceito de Gravitação se desenvolveu ao longo da história?”**, a obra de Copérnico trouxe uma contribuição significativa e motivou astrônomos e pensadores diversos, que já não aceitavam o modelo aristotélico-ptolomaico, e começavam a militar na defesa do heliocentrismo.

Como vimos, Copérnico não foi o primeiro a desenvolver um sistema heliocêntrico, ou seja, com o Sol no centro. Já vimos que Aristarco de Samos (320 - 250

A.C.) propôs um modelo heliocêntrico, mas na época o modelo não foi bem recebido como também não será bem aceito no século XVI o modelo copernicano.

No entanto, Copérnico teve que fazer uso dos deferentes, epiciclos e excêntricos utilizados por Ptolomeu. **Como então o modelo heliocêntrico de Copérnico, acabou sobrepondo ao modelo geocêntrico dos gregos?** Como Aristarco, Copérnico considera a Terra em movimento e atribui ao Sol o centro do universo e do movimento dos demais corpos celestes.

Copérnico propôs mudanças na representação dos movimentos celestes. O heliocentrismo (**figura 4**) exigia que a Terra realizasse dois movimentos, um de **rotação** em torno de seu eixo e outro de **translação** ao redor do Sol.



**Figura 4 - Modelo heliocêntrico de Copérnico, em que o Sol é o centro do Universo e os demais planetas giram ao seu redor. O último círculo representa a esfera das estrelas fixas.**

Mas em muitos aspectos o Universo de Copérnico assemelhava-se ao da cosmologia aristotélica: era esférico, assim como a Terra, e finito; o movimento dos corpos celestes era uniformemente circular e mantinha os cinco elementos que o constituiriam anteriormente.

Por volta de 1510, quando tinha trinta e sete anos, Copérnico redigiu uma primeira apresentação pública de seu sistema heliocêntrico. No livro intitulado *“Pequeno comentário sobre as hipóteses formuladas por Nicolau Copérnico acerca*

*dos movimentos celestes*<sup>44</sup>, Copérnico apresenta suas sete exigências ou axiomas revolucionários como veremos a seguir:

1 - Não existe um centro único de todos os orbes celestes ou esferas.

2 - O centro da Terra não é o centro do mundo, mas apenas o da gravidade e do orbe lunar.

3 - Todos os orbes giram em torno do Sol, como se ele estivesse no meio de todos; portanto, o centro do mundo está perto do Sol.

4 - A razão entre a distância do Sol à Terra e à altura do firmamento é menor do que a razão entre o raio da Terra e a sua distância ao Sol; com muito mais razão esta é insensível confrontada com a altura do firmamento.

5- Qualquer movimento aparente no firmamento, não pertence a ele, mas à Terra. Assim a Terra, com os elementos adjacentes, gira em torno dos seus polos invariáveis em um movimento diário, ficando permanentemente imóveis o firmamento e o último céu.

6- Qualquer movimento aparente do Sol não é causado por ele, mas pela Terra e pelo nosso orbe, com o qual giramos em torno do Sol como qualquer outro planeta. Assim, a Terra é transportada por vários movimentos.

7- Os movimentos aparentes de retrogressão e progressão dos errantes não pertencem a eles mas à Terra. Apenas o movimento desta é suficiente para explicar muitas irregularidades aparentes no céu.” (COPÉRNICO, apud ZANETIC, 2007p. 103-105).

O **quinto axioma** tem relação com nosso estudo. Os aristotélicos argumentavam como prova da imobilidade da Terra o seguinte fato: uma pedra lançada verticalmente para cima deveria cair longe do ponto de lançamento caso fosse verdade que a Terra se movimentasse em torno do Sol. Para contestar essa ideia, Copérnico afirmava que, sendo a pedra um **grave**, isto é, elemento mais pesado que o ar ou elemento terra, uma vez lançada para cima, esta deveria acompanhar a rotação da Terra.

Vejamos um pequeno trecho extraído do seu livro “*Das revoluções das esferas celestes*”, onde Copérnico afirmava o seguinte:

---

<sup>44</sup>Tradução do título da obra *Nicolai Copernici de hypothesisibus mottum caelestium a se constitutis commentariolus*, segundo o físico e historiador da ciência Roberto de Andrade Martins.

“Nós temos que admitir que o movimento de queda e de subida de corpos é um movimento dual em comparação com o universo, e é não menos que uma composição de movimento retilíneo com movimento circular. Pois as partes que caem devido ao seu próprio peso, desde que são principalmente **terrosos**, indubitavelmente mantêm a mesma natureza com o todo. O mesmo se aplica para as coisas que são atiradas para cima devido a forças associadas à sua própria natureza, (...) (COPÉRNICO apud ZANETIC, 2007, p. 64).

**Mas por que alguns dos pensadores da época não concordaram com o modelo de Copérnico? Por que havia diferentes explicações para um mesmo fenômeno observado?**

Aqui na verdade surge o embate de duas teorias. Por um lado, o modelo aristotélico - ptolomaico que adota um sistema geocêntrico, e de outro, o modelo copernicano colocando o Sol no centro do Universo e considerando a Terra um planeta **como** os demais e, portanto, em movimento.

Os aristotélicos argumentavam que o movimento de rotação da Terra causaria sua destruição, pois esta se romperia em pedaços, devido ao efeito da força centrífuga. Mas Copérnico contra argumentava afirmando que esse movimento de rotação é um movimento natural, portanto, não destruiria a Terra. A seguir, algumas palavras de *Copérnico* em relação a esse tema:

“Não há razão alguma para Ptolomeu temer que a Terra se desintegre e que sejam espalhados os objetos terrestres devido à rotação produzida pelas formas da natureza, que são distintas de artificios, ou do que pode ser conseguido por habilidades humanas. Além do mais fortemente com relação ao movimento do universo como um todo, já que ele deve ser muito mais rápido na proporção em que o firmamento é maior que a Terra”. (COPÉRNICO apud ZANETIC, 2007, p 65)

A aceitação de uma nova ideia na ciência é sempre lenta. Essa é uma importante questão na história da ciência. Podemos perceber que a produção do conhecimento científico é fruto de muitas controvérsias, de ideias que surgem e que são abandonadas ou retomadas posteriormente.

Mas com seu modelo, Copérnico abriu uma porta que jamais voltaria a ser fechada e suas concepções foram fundamentais para o cientistas que o sucederam como Tycho Brahe, Johannes Kepler, Galileu Galilei e Isaac Newton, como veremos nos próximos capítulos.

### Questões para pensar...

1 - O que levou Copérnico a imaginar um sistema diferente como explicação para os fenômenos observados? Justifique.

2 - Em sua opinião, quais foram as principais motivações que levaram Copérnico a construir seu modelo?

3 - Que argumentos você usaria para defender o modelo heliocêntrico?

4 - Por que havia explicações diferentes para os mesmos fenômenos observados na natureza? Justifique.–

5 - Em sua opinião, afirmar que o Sol está no centro do Sistema Solar e que os planetas giram à sua volta é óbvio e intuitivo? Justifique.

6 - Como é compreendido o movimento retrógrado dos planetas no modelo copernicana?

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

COPÉRNICO, N. *As Revoluções dos Orbes Celestes*. Fundação *Calouste Gulbenkian*, Lisboa, 1984.

MARTINS, Roberto de Andrade. *O universo: teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Moderna, 4. Ed. 1996. Disponível em versão eletrônica no site da Universidade de Campinas: [WWW.ifi.unicamp.br/~ghtc/Universo/](http://WWW.ifi.unicamp.br/~ghtc/Universo/)

ZANETIC, J. FEP 156. *Gravitação*, notas de aula, 2007.

## Texto 4 - As contribuições de Tycho Brahe, Kepler, Giordano Bruno e Galileu

### 4.1 Contexto histórico - cultural

Estudamos nos capítulos anteriores algumas contribuições dos filósofos gregos. Conhecemos o universo aristotélico com a Terra no centro do Universo e a revolução copernicana que resolveu alguns problemas que o paradigma aristotélico não conseguia solucionar.

É importante destacar que o modelo copernicano, com uma Terra móvel e um Sol fixo, rompe com o cosmos fechado e limitado e abre um leque de possibilidades que não pode ser prevista pelos iniciadores da revolução. Mas por que é tão difícil aceitar uma nova concepção de Universo, uma nova teoria? Porque a ciência se desenvolve num determinado contexto histórico, econômico e social. Sendo a ciência uma realização do ser humano, suas crenças e valores estão fortemente ligados à sua visão de mundo.

Para o homem medieval, o céu era um local perfeito, a Terra era o ambiente sujeito a mudanças e corrupções. O espaço era hierarquizado e finito. **Então como admitir um modelo onde a Terra não ocupasse um lugar de destaque?** A figura 5 abaixo representa uma pintura (afresco) da Idade Média e nos permite visualizar como o espaço era hierarquizado e finito na Idade Média.(Braga et all, 2002).



**Figura 5 -Entrada em Jerusalém, de Pietro Lorenzetti (1280-1348) Fonte: Braga et al, 2002.**

Você pode observar que as pessoas na imagem possuem tamanhos diferentes. Um servo, por exemplo, jamais seria retratado com o mesmo tamanho do senhor feudal. Além disso, o espaço não era homogêneo. Pois essa era a forma como o ser humano percebia o Universo. Mas o modelo copernicano começou a abalar as antigas estruturas, rompendo com esse cosmo fechado e único.

Era o início do Renascimento. Essa nova corrente de pensamento que colocava o homem no centro do universo (antropocentrismo) era muito contrária à cultura medieval

teocêntrica. Neste período, os artistas e intelectuais começam a questionar o papel da Igreja e de velhas crenças.

A figura 6 representa uma pintura de Jan Van Eyck (1390-1441), do século XIV. Essa pintura retrata a Virgem Maria assentada diante do Chanceler, com o menino Jesus em seu colo. Na pintura, podemos observar que o Chanceler é representado do mesmo tamanho que a Virgem Maria e está no mesmo nível que ela. Ele usa um manto de brocado de ouro bem mais luxuoso que o da Virgem Maria. Está claro que o mundo terreno era muito mais importante para ele do que o celeste. Não há mais distinção entre o céu e a Terra e o espaço é homogêneo. (Braga et al, 2002).



**Figura 6 - Madona do chanceler Rolin, de Jan Van Eyc. ) Fonte: Braga et al, 2002.**

O Renascimento cria uma condição favorável ao desenvolvimento da ciência, permitindo uma nova concepção de mundo.

E apesar do modelo geocêntrico como concebido por Copérnico, se eficaz para as explicações astronômicas, abandonar a hipótese geocêntrica parecia contradizer o senso comum. Mas, em contrapartida, despertara o interesse de pensadores que, com suas contribuições, consolidariam as bases de uma nova forma de ver e explicar o mundo físico, dos fenômenos terrestres ao modelo de Universo, entre eles, destacam-se, Giordano Bruno (1548 – 1600), Tycho Brahe (1546-1601), Johannes Kepler (1571 – 1630) e Galileu Galilei (1564 -1642).

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BRAGA, M; GUERRA, J.F., REIS, J.C. Newton e o triunfo do Mecanicismo, São Paulo, 2002. (Ciência no tempo). Atual Editora.

MARTINS, Roberto de Andrade. *O universo: teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Moderna, 4. Ed. 1996. Disponível em versão eletrônica no site da Universidade de Campinas: [www.ifi.unicamp.br/~ghc/Universo/](http://www.ifi.unicamp.br/~ghc/Universo/)

ZANETIC, J. FEP 156. *Gravitação*, Notas de Aula, 2007.

## **Texto 5 - Os defensores do sistema copernicano: Giordano Bruno e Galileu Galilei**

### **5.1 Giordano Bruno e a Infinitude do Universo...**

Giordano Bruno nasceu em Nápoles, na Itália, em 1548. Entrou para a ordem religiosa dominicana e, após dez anos, foi obrigado a desistir da vida religiosa devido às suas opiniões sobre os dogmas da imaculada concepção e da transubstanciação, partindo da Itália (EVANGELISTA, 2011, p.192). Foi para a França onde divulgou o heliocentrismo copernicano. Retornou à Itália, em 1592, mas denunciado, acabou preso a mando da Inquisição e levado para Roma onde ficou encarcerado por oito anos. Foi condenado à fogueira por defender, principalmente, suas ideias religiosas, mas a defesa do movimento da Terra e da infinitude do universo, devem ter pesado na sua condenação. Foi queimado vivo no Jardim das Flores, em Roma, em 17 de fevereiro de 1600.

Qual a importância de Giordano Bruno para a consolidação do sistema copernicano? Alexandre Koyré (1892-1964), um historiador da ciência, afirma que Giordano Bruno foi quem apresentou pela primeira vez a melhor discussão para combater às ideias aristotélicas escritas antes de Galileu.

Esse pensador defende a ideia de infinitude do Universo, contrariando a visão dominante de universo finito do modelo geocêntrico e mesmo o universo finito de Copérnico. Bruno fazia a defesa de um universo infinito, pois para esse pensador, Deus não poderia agir de outra forma. O universo criado por Deus deveria ser infinitamente extenso, por ser infinito o poder de Deus. Alexandre Koyré afirma que ele foi o primeiro a introduzir uma visão de universo infinito e que nos apresentou uma cosmologia que se tornaria dominante nos últimos tempos.

### **5.2 Galileu Galilei**

O que sabemos sobre Galileu é que, como muitos outros pensadores desde a antiguidade, como Platão, utilizava-se dos chamados “**experimentos idealizados**”, que são experimentos idealizados que podem ser realizados como uma representação mental de um fenômeno real. Esses experimentos “imaginários” sempre desempenham um papel muito importante na história da Física.

Mas antes de continuarmos a falar sobre a contribuição de Galileu para o nosso estudo, vamos conhecer um pouco sobre sua história de vida. Quem foi Galileu Galilei?

Galileu Galilei (1564-1642) nasceu em Pisa na Itália. Filho mais velho do músico Vincenzo Galilei (1533-1591) e de Giulia Ammanatt (1538 -1620). Estudou

Medicina para satisfazer os desejos de seus pais, mas acabou por se dedicar à Matemática para a qual demonstrou muita habilidade. Em Pisa foi nomeado professor de matemática na Universidade, em 1592, e vai ocupar igual cargo na Universidade de Pádua.

Galileu aderira desde jovem ao modelo copernicano, mas apenas se manifesta publicamente em defesa das ideias de Copérnico através de seu livro **Mensageiro das estrelas**, publicado em 1610, quando Galileu tinha 46 anos. Sua criatividade e habilidade experimental o levaram a aprimorar equipamentos que utilizava em suas observações.

Galileu era adepto da experimentação e historicamente foi um dos primeiros a aliar experimentação com uma construção teórica expressa em linguagem matemática, de forma narrativa, para descrever os fenômenos físicos observados.

Nesse aspecto Galileu foi um divisor de águas entre a antiga filosofia natural e o novo método científico.

No livro **Mensageiro das estrelas** ele relata suas revolucionárias descobertas realizadas com o auxílio de uma luneta, como: **a observação de quatro satélites de Júpiter e das montanhas e crateras da Lua**. Além disso, observando Vênus descobriu que ocorriam variações na sua iluminação, ou seja, Vênus apresentava fases.

As observações de Galileu contribuíram muito para a defesa do heliocentrismo, já que questionaram de forma contundente o paradigma de astros perfeitos e imutáveis do pensamento aristotélico.

Conseqüentemente, suas descobertas mostraram que os planetas eram semelhantes à Terra, derrubando a imutabilidade e a perfeição dos céus afirmadas pelos aristotélicos. Entre suas conclusões encontramos a seguinte:

“Temos aqui um argumento notável e ótimo para eliminar os escrúpulos de quem, aceitando com equanimidade a rotação dos planetas em torno ao Sol segundo o sistema Copernicano, sentem-se, contudo perturbados pelo movimento da solitária Lua em torno da Terra, ao tempo que ambas descrevem uma órbita anual em torno ao Sol, até o ponto de considerar que se deve rechaçar por impossível esta ordenação do Universo”. (GALILEI apud ZANETIC, p. 67)

Ele também foi um dos primeiros a utilizar uma língua de uso comum, o italiano ao invés do latim, para escrever e publicar seus últimos livros. Entre eles, suas duas principais obras: **Diálogo sobre os Dois Sistemas do Mundo: O Ptolomaico e o Copernicano**, de 1632, e **Discursos e demonstrações matemáticas sobre duas novas ciências**, de 1638. Esses livros foram escritos na forma de diálogo entre três

personagens, a saber: *Salviati*, que representa o pensamento do próprio Galileu; *Simplicio*, defensor das ideias de Aristóteles; e *Sagredo*, que representava um observador aberto a novas ideias e questionamentos.

O livro *Dialogo* foi escrito em quatro partes, identificadas como “jornadas”. A princípio Galileu faz uma revisão dos conceitos aristotélicos, principalmente no que diz respeito aos “**movimentos naturais**”. A primeira jornada é dedicada a demonstrar que não tem sentido a diferença que os aristotélicos fazem entre o mundo celeste (perfeito e incorruptível) e o mundo terrestre (sujeito a mudanças e imperfeições).

Na segunda e na terceira jornadas, Galileu tece alguns argumentos mais comuns usados contra o modelo copernicano. Por exemplo, Simplicio traz a seguinte ideia para defender a imobilidade da Terra: se uma pedra for lançada do alto de um mastro de um navio em repouso, ela cairá ao pé do mastro do navio. No entanto, se fosse lançada do alto do mastro, com o navio em movimento, ela cairia a uma posição mais distante do mastro. Vamos reproduzir um pequeno trecho do argumento de Galileu, em defesa do modelo de Copérnico e contra o argumento de Simplicio:

“Encerra-te com algum amigo no maior cômodo que exista sobre a cobertura de um grande navio. Cuida de que haja moscas, borboletas e semelhantes animaizinhos voadores. Que exista também um grande vaso com água, com peixinhos dentro. Suspenda-se também no alto alguma jarra, que gota a gota vá derramando água em outro vaso, de boca estreita, que esteja colocado em baixo. Estando o navio parado, observa com atenção como os animaizinhos voadores, com igual velocidade, vão em direção a todas as partes do cômodo; verás os peixes nadando indiferentemente em todas as direções (...) ao jogar alguma coisa para teu amigo, não deverás lançá-la com mais força (...) percorrerás espaços iguais em qualquer direção. Observa que terás diligentemente todas essas coisas, embora não haja dúvida de que assim devem ocorrer quando o navio está parado.

Então, faz com que a nave se mova com qualquer velocidade que queiras (desde que o movimento seja uniforme e não flutuante daqui para ali) e verás que não reconhecerás nem uma mínima mudança em todos os efeitos citados, nem por qualquer dos efeitos poderás perceber se o navio está andando ou parado (...) ao jogar alguma coisa para teu companheiro, não precisarás atirá-la, para atingi-lo, com mais força se ele estiver na direção da proa do que da popa (...) (GALILEI apud EVANGELISTA, p.245)

Galileu argumenta com o que chamamos atualmente de **Princípio da Relatividade Galileana**. Em outras palavras, não é possível verificar a partir de uma experiência mecânica realizada dentro de um sistema (navio) se esse sistema está em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.

Galileu também estabelece uma nova teoria do movimento. Essa nova teoria estava fundamentada no **princípio da inércia**. Segundo esse princípio um objeto em um sistema inercial não altera seu estado de movimento, a menos que uma força externa seja imposta a ele. Em seu livro *Diálogo*, partindo da concepção aristotélica de que uma força é sempre necessária para manter o movimento violento, Salviati leva Simplicio a concluir que um objeto em movimento não natural pode continuar indefinidamente em movimento sem a presença de uma força. Esse é um exemplo da aplicação do **princípio de inércia** de Galileu. A leitura dos escritos de Galileu revela que ele estendia a validade do princípio de inércia aos movimentos circulares. Por exemplo, aos movimentos sem atrito na superfície da Terra ou ao movimento da Terra em torno do Sol.

E assim, Galileu também admite esses movimentos para as trajetórias planetárias. Para ele, como para Aristóteles, essa trajetória circular para os planetas seria um **movimento natural**, que não necessitava de uma força para ser mantido.

Outra importante contribuição de Galileu foi o estabelecimento de um método científico. Galileu inova a forma de observar a natureza. As descobertas com a Luneta revelam uma nova metodologia científica, que agora requer que as hipóteses sejam coerentes com alguma investigação experimental.

Lembramos que estamos ainda na época do Renascimento. Desse momento em diante, tem-se uma nova atitude em relação à Ciência, o ser humano adota uma postura mais questionadora.

Nos próximo capítulo vamos abordar as contribuições de Tycho Brahe e Johannes Kepler, que abriram caminho para a aceitação do modelo copernicano.

### **Questões para pensar...**

As observações de Galileu foram a causa que o levaram a acreditar no modelo de Copérnico? Justifique.

Leia com o seu grupo a literatura de Cordel Galileu: Vida e Obra, de Gonçalo Ferreira da Silva e transforme o texto de cordel em outro gênero literário que pode ser: texto dissertativo, jornalístico, poema ou poesia.

Quais foram as principais contribuições de Galileu para a consolidação do modelo copernicano?

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, M; GUERRA, J.F., REIS, J.C. Newton e o triunfo do Mecanicismo, São Paulo, 1999. (Ciência no tempo).

EVANGELISTA, R.E. Perspectivas em História da Física. Dos Babilônios à Síntese Newtoniana. Editora Ciência Moderna Ltda., 2011.

MARTINS, Roberto de Andrade. *O universo: teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Moderna, 4. Ed. 1996. Disponível em versão eletrônica no site da Universidade de Campinas: [www.ifi.unicamp.br/~ghc/Universo/](http://www.ifi.unicamp.br/~ghc/Universo/)

ZANETIC, J. FEP 156. *Gravitação, Notas de Aula*, 2007.

## Texto 6 - As contribuições de Tycho Brahe e Johannes Kepler

Johannes Kepler (1571-1630) foi um astrônomo alemão. Em 1584, Kepler matriculou-se na Universidade de Tübingen na Alemanha. Nessa universidade foi aluno do astrônomo Michael Maestlin, que defendia o modelo copernicano e Kepler adere a esse sistema.

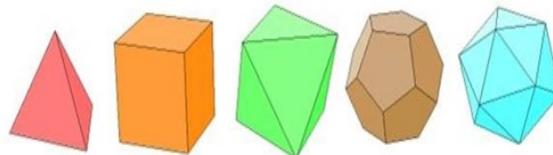
Kepler desejava tornar-se pastor de sua Igreja Luterana, mas sua fé luterana era inconciliável com sua adesão ao modelo copernicano e isso o impede de assinar a **Fórmula da Concórdia**, um documento da Igreja Luterana que rejeitava o modelo copernicano.

Em 1594 segue para a Cidade de Graz, na Áustria, por sugestão de seu mestre Maestlin, onde acabou aceitando um cargo de professor de matemática. A partir daí, Kepler se dedica à ciência, estudando o modelo copernicano.

Ele pretendia investigar as causas dos movimentos dos planetas. Para Kepler, deveria existir uma causa física real para as órbitas planetárias. Além de sua criatividade e habilidade matemática, Kepler também possuía um lado místico. Em 1597, escreveu o livro *Mistério Cosmográfico*, onde diz:

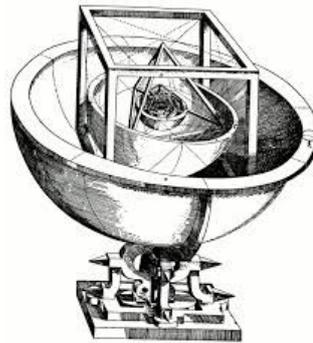
Eu procuro provar que Deus, na criação deste universo móvel e na harmonização dos corpos celestes, tinha em vista os cinco sólidos regulares da geometria, celebrados desde os dias de Pitágoras e de Platão, e que Ele tinha acomodado à sua natureza o número de céus, as suas proporções e as relações dos seus movimentos. (KEPLER apud EVANGELISTA,, 2011)

Atualmente sabemos que a ciência e o misticismo não se misturam, mas nem sempre foi assim. Kepler acreditava que Deus tinha criado um universo harmonioso e perfeito e, assim, teria utilizado a matemática e as figuras geométricas que representavam muito bem essa perfeição: os **sólidos regulares**. (Figura 7).



**Figura 7: Os sólidos regulares ((poliedros): tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro), cujas faces têm lados e ângulos iguais. Os sólidos regulares são considerados símbolos da perfeição.**

Kepler imaginou um modelo no qual os sólidos regulares estivessem associados às esferas, nas quais os planetas orbitavam e cujo centro era o Sol. As esferas representavam as distâncias planetárias reais e Kepler conseguiu representá-las com uma ótima precisão. Cada sólido perfeito permitia que Kepler, com as medidas planetárias de Copérnico, inscrevesse e circunscrevesse duas esferas. Ele utilizou 6 esferas celestes, que representavam os seis planetas (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno) até então conhecidos, porque só existiam 5 sólidos regulares perfeitos. Veja abaixo (figura 8) a representação do modelo de Kepler.



**Figura 8: Modelo do universo de Kepler**

O livro **Mistério Cosmográfico** lhe trouxe fama e também o pôs em contato com o mais habilidoso astrônomo da época, o dinamarquês Tycho Brahe (1546 -1601). Em 1600, Kepler trabalhou com Brahe como seu assistente. Mas a relação entre eles era muito difícil. Brahe em vida nunca entregou seus dados a Kepler, pois não aderira ao modelo copernicano, mas quando Brahe morre, Kepler tem acesso aos dados.

Kepler, então, passou a estudar a órbita dos planetas, principalmente a órbita de Marte sobre a qual possuía muita informação. Procurou ajustar órbitas circulares com os dados de que dispunha, mas apesar de suas inúmeras tentativas, ele encontrou discrepâncias que não conseguiu explicar.

Ao contrário dos gregos, Kepler não se contentava em “**salvar as aparências**” dos fenômenos e procurava uma causa física para os fenômenos observados. Ele não aceitava que um artifício geométrico como, por exemplo, o epiciclo fosse a explicação do movimento dos planetas. Para ele, os movimentos dos planetas tinham uma causa física real. Assim, ele vai abandonar a utilização dos epiciclos pois o planeta não podia orbitar em torno de um ponto vazio. Tinha que ter uma causa física! Ele já tinha estabelecido, por influência de William Gilbert (1540-1603), que estudava a

atração/repulsão entre imãs, que dois corpos quaisquer, livres no espaço, se atrairiam, um em direção ao outro na proporção da massa do outro, ou seja,

$$F \propto m_1 m_2$$

Kepler continuou com seus estudos, manipulando os dados de Tycho Brahe. Assim, chega à sua famosa lei das áreas, que pode ser enunciada da seguinte forma: **o vetor que une o planeta ao Sol “varrerá” áreas iguais em intervalos de tempos iguais**

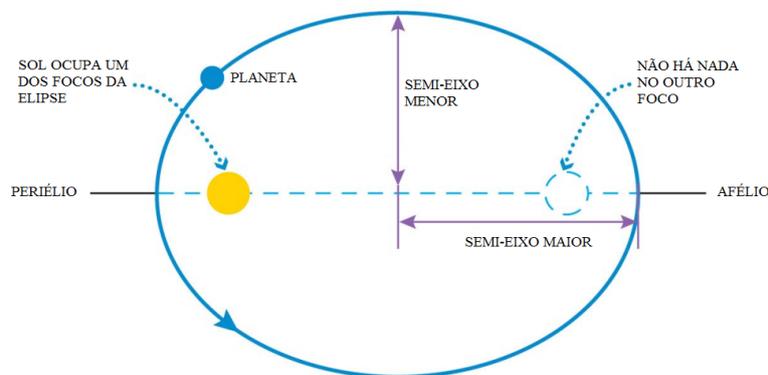
A mais importante consequência dessa lei é que, ao longo de sua trajetória, Kepler percebeu que a velocidade do planeta é variável. Mas ele ainda não sabia como era o formato da órbita. Por que era tão difícil abandonar o círculo? Nesse ponto, é preciso destacar que na ciência o ato de observar está fortemente ligado aos pressupostos teóricos do cientista que observa.

E nesse aspecto, com Kepler não foi diferente. Ele estava preso, como Copérnico, ao antigo dogma do movimento e da forma circular dos gregos. Mas, após muitas tentativas, conclui que a órbita de Marte não poderia ser circular e foi obrigado a reelaborar sua proposta. Eis seu comentário

“Uma vez que a bondade divina nos deu em Tycho Brahe o mais cuidadoso dos observadores, de cujas observações divergem os meus cálculos em 8' (...) é justo que o reconheçamos com gratidão e que façamos uso desta dádiva de Deus (...) Mas, como não podiam ser negligenciados, estes 8' abriram caminho a uma reforma completa da astronomia e constituíram o assunto principal de uma grande parte deste trabalho. (KEPLER apud COHEN, 2002, p.171-172)

Notamos aí, a importância da análise teórica que Kepler estabeleceu com os dados observacionais de Tycho Brahe. Esses dados o levaram a uma importante conclusão: a Terra não se movia uniformemente ao longo de sua órbita, mas sua velocidade dependia de sua distância ao Sol, que comandava seu movimento.

E assim chega à sua outra lei, conhecida como **primeira lei de Kepler**, que pode ser enunciada como: **todo planeta move-se em órbita elíptica com o Sol ocupando um dos seus focos** (figura 9). Mas aqui devemos destacar que, embora Kepler tenha concluído que as órbitas são elípticas, elas possuem excentricidades muito pequenas, ou seja, são aproximadamente circulares.



**Figura 9 – Periélio (ponto mais próximo do Sol) e afélio (ponto mais distante do Sol)**

A terceira lei de Kepler, ou lei dos períodos, também foi resultado de um longo trabalho. Em linguagem atual essa lei diz o seguinte: **os quadrados dos períodos de revolução de dois planetas quaisquer estão entre si como os cubos de suas distâncias médias ao Sol.** Essa terceira lei foi fundamental para que Newton formulasse, décadas depois, o princípio da gravitação universal.

A habilidade teórica de Kepler, aliada com as observações meticulosas de Brahe, o levaram às suas três leis do movimento planetário. As duas primeiras leis foram apresentadas em seu livro **Astronomia Nova** (1609) e a terceira lei em **Harmonia dos Mundos** (1619).

Finalizando, as leis de Kepler são válidas não somente para o movimento planetário. Essas leis também servem para descrever movimentos de luas, satélites e outros corpos que orbitem astros. Essas leis descrevem o movimento dos planetas, mas não explicam a causa dos movimentos. É a partir dos trabalhos de Kepler que Newton chegará a parte dessas explicações, desenvolvendo a Lei da Gravitação Universal.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

COHEN, I.B; WESTFALL, R.S., Newton – Textos, Antecedentes, Comentários, Contraponto Editora, Rio de Janeiro, 2002.

ZANETIC, J. FEP 156. *Gravitação*, Notas de Aula, 2007.

## Texto 7 - Os caminhos de Newton para os “Principia” (Princípios)

### 7.1 Introdução

Todas as pesquisas de Newton resultaram na escrita de duas grandes obras: A primeira chamada “*Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*”, onde Newton estabeleceu as leis do movimento. Aqui vamos chamá-la de Princípios.

Em 1704, Newton publica o livro *Óptica*. Nesse último livro ele trata dos fenômenos ópticos e da natureza da luz.

O livro *Princípios* é uma das mais importantes obras da Física, pois deu origem ao que conhecemos hoje por Mecânica Clássica. E começa aqui, com Newton, uma nova fase da ciência. Nessa obra ele enuncia suas três importantes *Leis do Movimento* e seu famoso *Princípio da Gravitação Universal*, no qual afirmava que a **força gravitacional** entre dois corpos era proporcional ao inverso do quadrado da distância entre ambos e proporcional às suas massas, e que essa força ocorre em todos os corpos.

É importante salientar que Newton conhecia os trabalhos de **Copérnico**, **Galileu**, **Kepler** e **Descartes**. Ele mesmo reconheceu a importância de seus predecessores quando fez a seguinte declaração: “*Se consegui enxergar mais longe, é porque estou apoiado sobre ombros de gigantes*”. Por exemplo, no estabelecimento do Princípio da Gravitação Universal Newton se baseou fortemente nas três leis de Kepler, como veremos nas seções seguintes.

Vejamos o que diz o historiador da ciência Roberto Martins a respeito do trabalho de Newton:

“Para nós, que fomos educados dentro da tradição newtoniana, é muito difícil empreender o salto imenso que existe entre a época anterior a Newton e a que se seguiu a ele. É preciso, claro, entender que ele não estava isolado, que outras pessoas estavam trabalhando na mesma direção e que algumas dessas pessoas chegaram, ao mesmo tempo, ou pouco depois, ao mesmo resultado geral, à mesma ideia básica (a existência de uma atração inversamente proporcional ao quadrado distância). Porém, Newton avançou muito além dessa ideia geral de que havia uma força gravitacional entre todos os corpos.” (Martins, 1990, p.12)

É interessante verificar neste trecho de Martins, que a ciência não se desenvolve com um único cientista isolado. Enquanto Newton desenvolvia suas pesquisas, outros pensadores e cientistas também trabalhavam na mesma direção.

E, além disso, Newton não se limitou apenas à afirmação da existência de uma força gravitacional entre os planetas e o Sol. Newton com muita criatividade relaciona os fenômenos entre os corpos celestes com fenômenos terrestres equivalentes, levando a

afirmar que a trajetória da Lua em torno da Terra, por exemplo, poderia ser explicada pelas mesmas leis que descrevem o movimento de uma pedra em queda na superfície do planeta.

## 7.2 Os Princípios de Isaac Newton

Vamos conhecer um pouco do pensamento de Newton. Vejamos o que ele escreve nesse pequeno trecho dos Princípios:

(...) Até aqui explicamos os fenômenos dos céus e do nosso mar pelo poder da gravidade, mas ainda não designamos a **causa** desse poder. É certo que ele deve provir de uma causa que penetra nos centros exatos do Sol e planetas, sem sofrer a menor diminuição de sua força: que opera não de acordo com a quantidade das superfícies das partículas sobre as quais ela age (como as causas mecânicas costumam fazer), mas de acordo com a quantidade da matéria sólida que elas contêm, e propaga sua virtude em todos os lados a imensas distâncias decrescendo sempre no quadro inverso das distâncias.

A gravitação com relação ao Sol é composta a partir das gravitações com relação às várias partículas das quais o corpo do Sol é composto; e ao afastar-se do Sol diminui com exatidão na proporção do quadrado do inverso das distâncias até a órbita de Saturno(...)

(...) Mas até aqui não fui capaz de descobrir a causa dessas propriedades da gravidade a partir dos fenômenos, e não construo nenhuma hipótese; pois tudo que não é deduzido dos fenômenos deve ser chamado uma hipótese; e as hipóteses, quer metafísicas ou físicas, quer de qualidades ocultas ou mecânicas, não têm lugar na filosofia experimental. (Newton, 1979, p.22)

Ao postular, nos *Princípios*, a existência de uma força gravitacional, Newton rompe com a ideia vigente na época de que toda ação física de um corpo sobre outro deve dar-se por contato entre os corpos. O que Newton propunha era uma força capaz de atuar à distância.

Um dos grandes críticos da teoria Newtoniana foi o filósofo e matemático alemão Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). Além de alguns enfrentamentos na área da matemática, Leibniz, assim como a grande maioria dos pensadores e cientistas da época, não aceitava a ideia de que entre dois corpos houvesse atração mútua sem que existisse um elemento material capaz de transmitir essa força.

Outro filósofo importante, que viveu antes de Newton, e que não aceitava a ação à distância foi René Descartes (1595 -1650). Esse filósofo francês escreveu um importante livro intitulado **Discurso do Método**. Em suas investigações científicas Descartes não valorizava a experimentação. Ao contrário, sua ênfase estava na matemática como instrumento para trabalhar suas hipóteses e deduções.

Roberto Martins resume o modelo gravitacional de Descartes na seguinte citação:

“Segundo Descartes, seria o próprio turbilhão [vórtice] da Terra que produziria a gravidade. O argumento é aproximadamente o seguinte: se um líquido se move em círculos, todas as suas partículas tendem a se afastar do centro e mover-se em linha reta (por aquilo que chamamos de inércia). Quanto mais rápido o movimento circular, maior essa tendência a se afastar do centro. Se houver um líquido em rotação muito rápida, e dentro dele partículas com rotação mais lenta, essas partículas terão menor tendência a se afastar do centro, e serão empurradas pelo líquido em direção ao centro. Seria exatamente isso que ocorreria nas proximidades da Terra: segundo Descartes, os corpos terrestres giram lentamente em torno do eixo da Terra, enquanto o segundo elemento do vórtice terrestre gira muito rapidamente; por isso, os corpos terrestres são empurrados, pelo material do vórtice, em direção à Terra.

Assim, Descartes defendeu a existência de vórtices, pequenos redemoinhos. A Terra girava em torno de seu próprio vórtice que arrastava a Lua em sua órbita ao redor da Terra. Na época que Descartes escrevia seu Tratado do Mundo, por volta de 1632/33, Galileu era condenado pelo Tribunal da Inquisição. Certamente com receio da Inquisição, Descartes considerou a Terra imóvel no centro de seu vórtice. Desse modo, não entrava em conflito com a concepção dominante de que a Terra estaria em repouso no centro do mundo. (Martins, 1997, p.89-90).

Descartes procurou explicar os movimentos dos corpos celestes a partir de um modelo mecânico. Portanto, os vórtices (redemoinhos) seriam responsáveis pelo arrastamento da Lua em sua órbita em torno da Terra, como também pela queda de um objeto na superfície da Terra.

Assim, Newton precisou enfrentar a visão mecanicista que era amplamente aceita por seus contemporâneos. Mas retornemos aos *Princípios* de Newton e vamos seguir a linha de seu pensamento para chegar ao **Princípio da Gravitação Universal**.

### 7.3 O caminho para chegar ao princípio da Gravitação Universal

Você deve lembrar que de acordo com a primeira lei de Newton, quando a resultante das forças que atuam sobre um corpo é nula, esse corpo tende a permanecer em repouso ou em movimento retilíneo uniforme (MRU). Portanto, uma mudança de movimento, requer a ação de uma força resultante não nula.

Mas Newton conhecia a primeira lei de Kepler e esta dizia que os planetas movem-se em órbitas que são elipses, isto é, órbitas curvas. No entanto, apesar da importante contribuição de suas leis, Kepler não resolvera o que causava os movimentos planetários.

Newton, estudando o movimento dos planetas e apoiando-se nas leis de Kepler, observou que para um planeta descrever uma órbita elíptica, seria necessária uma força agindo sobre ele, forçando-o a desviar-se da trajetória em linha reta, para ser coerente

com o **princípio da inércia**. Newton concluiu que o Sol deveria ser o responsável por essa força.

Segundo Newton, essa força seria do tipo atrativa e estaria relacionada com a massa dos corpos envolvidos, nesse caso, o Sol e os planetas. Mas como Newton chegou a essa ideia?

#### 7.4 A Gravitação Universal

Segundo alguns historiadores da ciência, essa ideia surgiu no verão de 1666, quando Newton se refugiou em sua fazenda de Wootsthorpe na Inglaterra, por causa de uma epidemia de peste bubônica.

Ele mesmo descreve esse episódio, cinquenta anos mais tarde nos Princípios:

“Comecei a pensar que a gravidade se estendia até a órbita da Lua, (...) da lei de Kepler sobre os períodos dos planetas (...) deduzi que as forças que conservam os Planetas nas suas órbitas devem ser inversamente proporcionais aos quadrados das suas distancias aos centros em torno dos quais revolucionam: e assim comparei a força necessária para conservar a Lua na sua órbita com a força da gravidade á superfície da Terra e encontrei valores agradavelmente semelhantes. Tudo isto aconteceu durante os dois anos de peste, em 1665 e 1666, porque naqueles dias eu estava na aurora da minha idade de invenção e a filosofia e a matemática eram-me mais importantes que nunca(...)” (Newton apud Martins 2006, p.184)

Newton partiu da seguinte hipótese: a força que mantém a Lua em órbita ao redor da Terra é da mesma natureza que a força exercida pela Terra sobre os objetos próximos à sua superfície e que essa força diminui com o inverso do quadrado da distância entre os corpos.

Ele refletiu sobre o que aconteceria se, do topo de uma montanha muito alta (**V**), projéteis fossem lançados horizontalmente com velocidades iniciais cada vez maiores.

Se lançarmos uma pedra comunicando-lhe pequena velocidade inicial na horizontal, a pedra descreverá trajetória curva como vemos na figura 10. Se aumentarmos a velocidade de lançamento, a pedra permanecerá um tempo maior no ar e percorrerá distâncias maiores. Então, Newton percebeu que se lançasse uma pedra com uma velocidade inicial suficientemente grande, a pedra descreveria uma órbita fechada em torno da Terra, voltando ao ponto de partida, como ilustrado na figura 10.

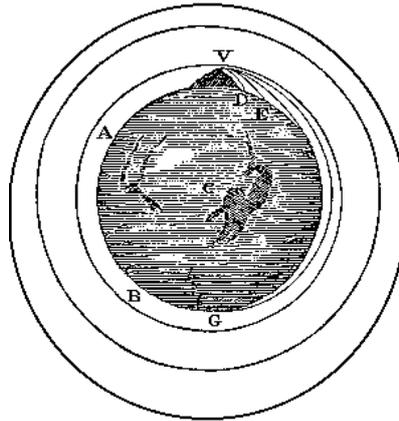


Figura 10 – O desenho acima é encontrado no livro *Um tratado sobre o sistema do mundo*, de Newton, de 1728- Através dele Newton explica como seria possível colocar um objeto em órbita em torno da Terra.

### 7.5 O princípio da Gravitação Universal

Vamos agora retomar o pensamento efetuado por Newton nos *Princípios*, onde ele demonstrava que a força centrípeta atuante num corpo que percorre uma órbita elíptica é inversamente proporcional ao quadrado da distância do corpo. Esse resultado pode ser escrito como:

$$F_C \propto \frac{1}{R^2} \quad (1)$$

Ele escreveu o seguinte nos *Princípios*:

“Se a matéria dos globos que gravitam entre si é homogênea em todos os lugares que equidistam dos centros por todos os lados, o peso de cada um deles com relação ao outro variará inversamente com o quadrado da distância entre os centros”

Newton propôs que a força entre quaisquer duas massas  $m_1$  e  $m_2$  ou  $m_p$  massa de um planeta, e  $m_s$ , massa do Sol, é proporcional ao inverso do quadrado da distância entre eles:

$$F_{\text{grav}} \propto \frac{1}{R^2} \quad (2)$$

William Gilbert, em sua obra “Sobre *os imãs*”, abordou o magnetismo terrestre afirmando que o efeito da força magnética que se manifesta na sua capacidade de agir a distância era proporcional à massa do imã, concepção que, como já foi dito, também havia sido utilizada por Kepler.

Newton associará os dois fenômenos, como sendo da mesma natureza. Desse modo postulou que

“A gravidade ocorre em todos os corpos e é proporcional à quantidade de matéria existente em cada um.”

Em outras palavras, todo corpo próximo à superfície da Terra está sujeito a uma força gravitacional que é proporcional à massa da Terra  $m_T$ , e também à massa do próprio corpo  $m_C$ . Assim, temos a seguinte relação;

$$F_g \propto m_T m_C \quad (3)$$

Newton generalizou essa expressão para quaisquer dois corpos. Isto é, a atração gravitacional entre dois corpos é proporcional ao produto de suas massas. Por exemplo, a interação entre a Terra e a Lua seria dada por essa expressão, assim como a força gravitacional entre qualquer planeta e o Sol.

$$F_g \propto m_1 m_2 \quad (4)$$

Considerando as expressões (1) e (2) temos que:

$$F_{\text{grav}} \propto \frac{m_1 m_2}{R^2} \quad (5)$$

Como você já aprendeu, precisamos introduzir uma constante de proporcionalidade  $G$  para transformar essa proporcionalidade numa equação. Assim temos:

$$F_{\text{grav}} = G \frac{m_1 m_2}{R^2} \quad (6)$$

Esta é a Lei da Gravitação Universal de Newton, também conhecida como princípio da gravitação universal, onde  $m_1$  e  $m_2$  são as massas dos corpos e  $R$  a distância entre os seus centros.

## 7.6 A Queda da Lua

Como as ideias de Newton tinham fortes críticos à ação à distância, ele aplicou essas ideias calculando o período de rotação da Lua em torno da Terra e a aceleração da Lua “caindo” para a Terra. Nesta seção vamos tratar desse último cálculo.

Assim, Newton imaginou que a Lua, da mesma forma que a pedra, “caindo” para a Terra, descreveria uma trajetória circular, mantendo uma velocidade necessária para não “atingir a superfície da Terra”.

Ele supôs que a força exercida sobre os planetas deveria estar dirigida para um ponto central na direção do Sol e que essa força seria semelhante à força que atrai os objetos nas proximidades da Terra.

Para testar essa hipótese, Newton calculou a aceleração centrípeta da Lua e obteve um valor muito pequeno, comparado com a aceleração de  $9,8 \text{ m/s}^2$  da queda de um objeto na superfície da Terra.

A aceleração da Lua em seu movimento ao redor da Terra pode ser calculada a partir da expressão da aceleração centrípeta.

Vejamos o que diz Newton em seu **livro III**:

“A Lua gravita em direção à Terra e é continuamente desviada do movimento retilíneo e retida em sua órbita pela gravidade”

Podemos calcular a aceleração da Lua em seu movimento ao redor da Terra por dois modos diferentes: o dinâmico, que nos fornece a aceleração centrípeta, e o gravitacional, que nos dá a aceleração da gravidade da Lua com relação à Terra.

Pelo modo dinâmico:

$$a_{cp} = \frac{v^2}{R}$$

A velocidade da Lua ( $v_L$ ) é a relação entre a distância e o tempo ( $T_L$ ) que ela percorre em uma volta. Devemos lembrar que o comprimento de uma circunferência é igual a  $2\pi r$ . Então, temos que:  $v_L = \frac{2\pi R_{TL}}{T_L}$

$$a_{cL} = \frac{4\pi^2 R_{TL}^2}{T_L^2} \cdot \frac{1}{R_{TL}} = \left(\frac{2\pi}{T_L}\right)^2 \cdot R$$

Na época de Newton, o período orbital da Lua em torno da Terra já era conhecido.

$T_L = 27,3$  dias ( $2,36 \times 10^6$  segundos) e o raio da órbita  $R = 3,8 \times 10^8 \text{ m}$ . Então, substituindo os valores temos:

$$a_{cp} = \left(\frac{2\pi}{2,36 \times 10^6}\right)^2 \times 3,8 \times 10^8 = 0,0027 \text{ m/s}^2$$

Como já vimos anteriormente nesse texto, Newton começou a pensar que a força planetária era exatamente o mesmo tipo de força que atraía os objetos para o solo na superfície da Terra. Em primeiro lugar, pensou em relação à atração da Lua pela Terra.

Ele sabia que a distância entre os centros da Terra e da Lua era cerca de sessenta raios terrestres. Se a força de atração variasse com  $1/R^2$ , devido a distancia que estava a Lua, a aceleração gravitacional exercida pela Terra sobre os corpos deveria ser  $1/60^2$ , ou seja,  $1/3600$  da exercida à superfície terrestre.

Em nosso estudo vimos que a aceleração de queda de um corpo na superfície terrestre é cerca de  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Portanto, a Lua deveria “cair” com uma aceleração igual a  $1/3600$  do valor da aceleração da queda de um corpo na superfície terrestre. Assim temos:

$$\frac{9,8}{3600} = 2,72 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

Portanto, vemos que esse resultado é muito semelhante ao resultado obtido para calcular a força necessária para manter a Lua na sua órbita em torno da Terra pelo modo dinâmico. Consequentemente, a queda da Lua em direção à Terra está de acordo com a queda dos corpos próximos à sua superfície. Portanto, a força que mantém a Lua na sua órbita é a mesma que chamamos de **gravidade**.

A mesma força da gravidade que faz cair um giz em sua sala de aula mantém a Lua na sua órbita! Como poderiam corpos tão distantes como a Terra e a Lua, atuar um sobre o outro, sem qualquer ligação visível entre eles? A seguir vamos conhecer outra dedução da **construção do princípio da gravitação universal**. Vamos obter a força gravitacional, utilizando a 3ª lei de Kepler:

Consideremos a força centrípeta que o Sol exerce sobre um planeta de massa  $m$ , que se move a uma distância  $r$  do Sol, com uma velocidade  $v$ :

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

Sabendo que as órbitas dos planetas do Sistema Solar são aproximadamente circulares podemos considerar o período do planeta T como:

$$T = \frac{2\pi R}{v}$$

De modo que,

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

Usando a terceira lei de Kepler temos:

$$T^2 = k \cdot R^3 \Rightarrow v^2 = \frac{4\pi^2 R^2}{kR^3} \Rightarrow v^2 = \frac{4\pi^2}{k \cdot R} \Rightarrow v^2 \propto \frac{1}{R}$$

A expressão da força centrípeta pelo Sol sobre um planeta de massa  $m$  é:

$$F \propto \frac{m}{R^2}$$

De acordo com a terceira lei de Newton, o planeta exerce sobre o Sol de massa  $M$ , uma força de mesma intensidade:

$$F \propto \frac{M}{R^2}$$

Newton então concluiu que, a força gravitacional entre dois corpos diminuía com o quadrado da distância entre eles, e que tal força ocorre em todos os corpos e é proporcional à massa de cada um. Assim, podemos escrever:

$$F = G \frac{Mm}{R^2}$$

Como já era esperado chegamos, por esse outro caminho na lei da gravitação universal de Newton.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

COHEN, I.B; WESTFALL, R.S., Newton – Textos, Antecedentes, Comentários, Contraponto Editora, Rio de Janeiro, 2002.

ZANETIC, J. FEP 156. *Gravitação*, Notas de Aula, 2007.

## **Anexo II –**

### **Termo de Consentimento**

#### **Prezado (a) estudante,**

Estamos realizando uma pesquisa científica sobre o ensino do tema “Gravitação Universal”. Em concordância com a diretora da escola e a coordenação pedagógica da escola, queremos investigar a aprendizagem desse tema. Nossa hipótese é que você conseguirá entender esse conceito de forma mais interessante. Esta autorização foi concedida mediante o compromisso da professora- pesquisadora realizar a gravação das discussões em sala de aula exclusivamente para gerar informações para a pesquisa. Seu nome não será divulgado, sendo conhecido apenas pela professora pesquisadora (apenas para identificar a evolução de sua aprendizagem e será preservado o anonimato dos participantes, assegurando assim sua privacidade). Além disso, não divulgaremos sua imagem em nenhuma mídia. Se você concordar em participar, peço a gentileza de assinar abaixo.

São Paulo, \_\_\_\_\_ de outubro de 2017.

\_\_\_\_\_

Assinatura do aluno (ou responsável, se o aluno for menor de 18 anos).

## Questionário Inicial

**1- Como os conhecimentos têm origem?**

---

---

---

**2- Qual a sua concepção de Ciência?**

---

---

---

**3- Existe um método científico?**

---

---

---

---

---

**4- Em sua opinião o que é um experimento? O desenvolvimento do conhecimento científico sempre requer experimentos. Justifique.**

---

---

---

**5- Em sua opinião o que é um experimento? O desenvolvimento do conhecimento científico sempre requer experimentos. Justifique.**

---

---

---

---

Quadro 1

Aula 2: 1º SEMANA ( 23/10/2017 a 28/10/2017)	
Texto	Objetivo Epistemológico
Texto 1: A Saga Inicial : Um pouco de história e filosofia	Discutir a relação entre a observação e a teoria
Relato das Aulas	
Retomamos a discussão da aula anterior e percebemos que os estudantes se envolveram e demonstraram muito interesse pelo tema. Selecionamos alguns trechos das discussões registradas. Nesta fase a pesquisadora procurou entrevistar os grupos formulando a seguinte questão: <i>Por que os primeiros filósofos chegavam a diferentes conclusões para explicar os fenômenos da natureza?</i> Foi possível observar, ao longo das discussões nos grupos, que os estudantes se mostravam muito curiosos acerca dos diferentes filósofos nos textos e expressavam suas ideias. Transcrevemos no quadro abaixo alguns exemplos de falas dos estudantes durante a entrevista com a professora.	

**Quadro 2:** Exemplos de respostas para a Questão: *Por que os primeiros filósofos chegavam a diferentes conclusões para explicar os fenômenos da natureza?*

ENTREVISTAS: GRUPO 3 – TURMA E	
Estudantes	Exemplos de Respostas
E24	Por que os filósofos tinham diferentes mecanismos de pesquisa que variava também com <b>as crenças de cada um</b>
E26	Ao contrario do que temos hoje, com <b>ferramentas de nova tecnologia</b> , os antigos baseavam-se em observações que podiam confundir e assim, por exemplo, ter que a terra é o centro do universo.
E33	Também pode depende <b>da cultura do local</b> em que eles viviam assim <b>como crenças e ensinamentos.</b>
E37	Por que <b>cada um possui um método de estudo diferente</b> , um raciocínio próprio vai <b>também da cultura de onde você nasceu, mas suas crenças e observações, na sua religião e se você possui uma cabeça aberta para novas descobertas.</b>

Quadro 3

ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS ESTUDANTES
Podemos observar na fala do estudante <b>E33</b> uma referência ao contexto cultural onde o pensador/filósofo está inserido. Ao contrário do estudante <b>E26</b> que tem uma visão anacrônica, pois atribui a falta de tecnologia como um problema do período histórico estudado. Após essas discussões, enfatizamos para os estudantes que as diversas teorias dos primeiros filósofos eram elaboradas nas escolas de pensamento que eles estavam inseridos. E, portanto, não poderiam ser consideradas meras opiniões pessoais. De acordo com os critérios que elegemos como elementos que compõem uma dimensão mais cultural da Física (ZANETIC, 1989), podemos considerar que a resposta dos estudantes <b>E33</b> e <b>E26</b> contemplam alguns desses elementos que apontam que eles perceberam a conexão da cultura e escola de pensamento do filósofo com sua visão de mundo.

## Quadro 4

Aula 4 : 2º SEMANA (30/10/2017 a 03/11/2017)	
Texto 2	Objetivo Epistemológico
Por que as coisas pesadas caem? Parte I	O dogma do movimento circular; Compreender as principais diferenças entre a concepção idealista de Platão e o racionalismo observacional de Aristóteles.
Relato das Aulas	
<p>A questão problematizadora inicial lançada pela professora: <i>por que um corpo cai? Porque as coisas pesadas caem?</i> Esta questão teve como objetivo investigar as percepções iniciais do conceito de gravidade dos estudantes. A resposta foi imediata: “por causa da gravidade”. Então reformulamos a questão: <i>O que é a gravidade?</i> Alguns estudantes responderam que “<i>é a força que um objeto é atraído para a Terra</i>”. Essa resposta foi aprovada pela grande maioria dos estudantes. Retomamos a discussão abordando a lenda da maçã de Newton, procurando despertar nos estudantes o interesse pela história da Gravitação. Para subsidiar a discussão solicitamos a leitura do texto. Após a leitura e discussão em pequenos grupos foram discutidos os conceitos de conhecimento visível e o inteligível para Platão. Foi enfatizado que Platão acreditava que as observações à nossa volta não poderiam descrever diretamente a realidade. Para ele, apenas o “mundo das ideias”, ou seja, somente pela razão. Para problematizarmos essa ideia, retomamos a questão: <i>Por que um grave cai? Como você explica a queda de um grave (giz)?</i> A partir deste questionamento inicial, procuramos esclarecer para os estudantes que para Platão, as explicações do empírico não passam de conhecimento visível ou senso comum. A realidade para Platão é a ideia e o real para Aristóteles é a realidade sensível. Enfatizamos que somente através dos nossos sentidos, não podemos afirmar com certeza que o grave (giz) caiu porque não o seguramos ou porque ele escorregou de nossas mãos. Destacamos para os estudantes a importância desses conceitos para o conhecimento físico. Em seguida discutimos o papel da geometria para fornecer uma explicação coerente das formas dos corpos na visão platônica. Alguns estudantes se posicionaram em relação ao tema, apontando como exemplo, que pelos nossos sentidos a Terra parece estar parada, mas esse fato é mera ilusão. Em outro momento da aula, observamos a seguinte discussão em grupo: E3: “<i>Platão defendia o inatismo, que nascemos com princípios racionais e ideias inatas...</i> (E15). As ideias de Platão estão entre dois mundos, o mundo inteligível, que é o nosso mundo que tivemos antes de nascer...o outro mundo é o sensível, em que nós já temos ideias formuladas em nossas mentes... no mundo em que vivemos...(E35): E tem .. que vê que Platão acredita que quatro formas de conhecimento: crença e opinião que ele descarta ...e raciocínio e indução.</p> <p>Esta discussão é bastante rica do ponto de vista da construção de uma visão mais adequada da ciência, pois percebemos que os estudantes traziam à discussão novamente a questão que a observação não é neutra, não permitindo interpretações únicas. É claro que estes são episódios isolados de uma aula, mas demonstraram que a discussão do texto foi profícua, suscitando conversas em que os estudantes demonstraram uma visão que a ciência esta sujeita a transformações. Fizemos a seguinte questão: <i>Qual a diferença entre o pensamento de Platão e Aristóteles?</i> Transcrevemos alguns exemplos das respostas dos estudantes. Procuramos exemplos que destacaram diferentes enfoques do tema na percepção dos estudantes. As respostas sempre envolveram alguns desses aspectos.</p>	

Quadro 5: Qual a diferença entre o pensamento de Platão e Aristóteles.

<b>EXEMPLO DE RESPOSTAS DOS ESTUDANTES</b>	
<b>Objetivo epistemológico: Problematizar a relação observação/ teoria.</b>	
<b>Estudantes</b>	<b>Exemplos de Respostas</b>
<b>E25</b>	Para Platão, não podemos afirmar com certeza se a pedra caiu porque a largamos ou porque é natural ou porque caiu de nossa mão, pode-se ser formulada a hipótese de que foi por causa da gravidade, para Aristóteles a pedra caindo é um movimento natural e a pedra empurrada é um movimento violento.
<b>E33</b>	Platão utilizava além da matemática, conhecimentos empíricos como crenças e valores. <b>Ao contrário de Aristóteles que concentrava seus estudos e observações apenas na interpretação dos fenômenos físicos.</b>
<b>E31</b>	A diferença entre o pensamento desses dois filósofos é que Platão defende a ideia de idealização como forma de analisar os fenômenos. Já Aristóteles, apoia-se mais nos sentidos, ou seja, que é visível/perceptível.
<b>F9</b>	Platão observava a natureza com uma interpretação mais bela e harmônica, <b>já Aristóteles tinha uma visão um pouco mais crítica e estudava a natureza de uma forma mais racional, fora do campo estético.</b>
<b>F28</b>	Platão tinha o pensamento voltado para o entendimento das coisas, senso comum, visível e inteligível e etc. Já <b>Aristóteles pensava mais em relação ao porque das coisas, a organização do cosmos, o estudo mais aprofundado.</b>
<b>F10</b>	Aristóteles introduziu uma concepção de esfericidade da Terra muito mais elaborada que aquela apresentada por Platão, que ignora o empírico visível. Platão acreditava no mundo inteligente e sensível. <b>Já Aristóteles seguia os padrões da natureza, e apesar de ele ser discípulo, era muito diferente de seu mestre Platão.</b>

**Quadro 6****ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS ESTUDANTES**

Nas respostas dos estudantes da turma F, observamos também a percepção da diferença entre o pensamento de Platão e Aristóteles. Nas respostas dos estudantes F9 e F10 não é exagero dizer que, em alguma medida, os estudantes percebem que Aristóteles não se contentou apenas em criar um modelo capaz de explicar as observações. Ele elaborou hipóteses acerca dessas observações.

**Quadro 7****Aula6: 3° SEMANA (06/11/2017 a 10/11/2017)**

<b>Texto</b>	<b>Objetivo Epistemológico</b>
Por que as coisas pesadas caem? Parte II	Compreender os diferentes sistemas cosmológicos e artifícios matemáticos na tentativa de “salvar as aparências”

**Relato das Aulas**

Foi retomada a aula anterior, enfatizando para os estudantes a diferença entre o modelo geocêntrico e referencial geocêntrico, para que estes compreendessem a diferença entre as concepções (aristotélica e ptolomaica) da Terra como centro do Universo e da Terra como referencial. Explicamos que o Universo de Ptolomeu era finito, pois um universo infinito não teria centro. Assim, a Terra não estaria no centro do Universo e, portanto, não ocuparia um lugar privilegiado no Universo. Nesta aula foi discutida a tônica do modelo aristotélico- ptolomaico com a tentativa de “salvar as aparências”, ou seja, ajustar um modelo explicativo aos dados observacionais, independentemente de sua realidade física. A professora procurou destacar os principais problemas de natureza científica, filosófica, apresentado pelo método de “salvar as aparências”, como por exemplo, ajustar determinados modelos sem inferir as causas dos fenômenos físicos. Também apresentamos o modelo do pensador grego Aristarco de Samos, que propôs um modelo completamente diferente do modelo geocêntrico de Aristóteles. Nesta aula, solicitamos que os estudantes respondessem as questões da página 250 do material histórico-científico por escrito. Os estudantes ficaram em pequenos grupos realizando essa tarefa até o final da aula. A seguir apresentamos as respostas dos estudantes.

## Quadro 8

<b>Aula 8: 4° SEMANA (13/11/2017 a 17/11/2017)</b>	
<b>Texto</b>	<b>Objetivo Epistemológico</b>
Preparando o terreno....	O conflito coma tradição cultural e religiosa: a imutabilidade do céu como obstáculo epistemológico à aceitação do modelo de Copérnico.
<b>Relato das Aulas</b>	
<p>Durante a etapa da organização do conhecimento foram discutidos alguns aspectos como o início das grandes navegações e, portanto, a necessidade de melhoria nos campos da Astronomia e Cartografia. Desse modo foi necessário o desenvolvimento de instrumentos como bússola, quadrante, astrolábio, que forneciam dados cada vez mais precisos da posição dos astros. Enfatizei que isso aumentava a discrepância entre o que era observado no céu e o que previa o modelo aristotélico-ptolomaico. Retomamos a questão: <i>Como Copérnico rebateu as objeções ao seu modelo?</i> Nesta aula os estudantes apresentaram suas respostas em relação ao tema. Transcrevemos a seguir as respostas dos estudantes. Expomos abaixo, algumas dessas respostas.</p>	

## Quadro 9

<b>Aula 10 : 6° SEMANA (27/11/2017 a 01/12/2017) e Aula 11 (7°SEMANA (04/12/2017 a 08/12/2017)</b>	
<b>Texto</b>	
Revisão dos textos	
<b>Relato das Aulas</b>	
(Retomada dos textos já abordados anteriormente)	

## Quadro 10

<b>Aula 14: 2° SEMANA (26/02/2018 a 02/03/2018)</b>	
<b>Texto</b>	<b>Objetivo Epistemológico</b>
As Contribuições de Tycho Brahe e Johannes Kepler	Discutir a relação entre pressupostos teóricos e observação
<b>Relato das Aulas</b>	
<p>O texto aborda as contribuições de Tycho Brahe e Kepler para a astronomia e sua contribuição para a história da Gravitação. Relembramos para os estudantes que somente depois de aproximadamente um século, o modelo heliocêntrico de Copérnico finalmente se sobrepôs ao modelo aristotélico-ptolomaico. No entanto, ao admitir o Sol como o centro do Universo, com os planetas girando ao seu redor em órbitas circulares, ainda não explicava totalmente as discrepâncias observadas pelos dados observacionais. O fim da separação entre a Astronomia e a Física teve início com Johannes Kepler que, desde muito jovem, sentiu-se muito atraído pelo modelo de Copérnico onde via muitas afinidades com suas próprias convicções. Uma questão que inquietava o jovem Kepler: Por qual razão existem exatamente seis planetas e não outro número qualquer? Por que as velocidades orbitais dos planetas descessem segundo a ordem em que distam do Sol? Após a problematização inicial solicitamos que os estudantes lessem o texto.</p>	

## Quadro 11

Aula 16 : 3º SEMANA (05/03/2018 a 09/03/2018)	
Texto	Objetivo Epistemológico
As Contribuições de Tycho Brahe e Johannes Kepler	Discutir a relação entre pressupostos teóricos e observação;
Relato das Aulas	
<p>Retomamos as discussões da aula 15. Destacamos que Kepler abandonou a órbita circular após varias tentativas e chegou à primeira lei: as órbitas são elípticas. No entanto, destacamos que essas órbitas tem excentricidade bem pequena, ou seja, são praticamente circulares. Destacamos a terceira lei de Kepler como fundamental para que Newton formulasse, décadas mais tarde, o principio da gravitação universal. Finalizamos a discussão sobre a leis de Kepler, destacando que essas leis não são apenas válidas para o movimento planetário. Essas leis servem para descrever o movimento de luas, satélites e outros corpos que orbitem astros. Nesta aula solicitamos que os estudantes respondessem por escrito as seguintes questões: 1- Por que Kepler inicialmente abandonou a órbita circular? 2- Discuta com o seu grupo as afirmações abaixo. A) Uma das características da ciência é a busca de regularidades na natureza; - O método científico é um conjunto de etapas linearmente construído, sem espaço para a imaginação, criatividade e intuição. 3- Em 1572, foi publicado pela primeira vez <i>Os Lusíadas</i>, de Luiz de Camões, um dos maiores escritores portugueses. A obra, escrita toda em versos e dividida em dez cantos e 1102 estrofes. Sua linha central é a história da descoberta do caminho para as índias por Vasco da Gama. Em paralelo, diversos episódios da história de Portugal são introduzidos, o que torna a obra uma verdadeira glorificação do povo português. No canto décimo, a deusa grega Tétis apresenta o Universo a Vasco da Gama:</p> <p>Vês o céu de Saturno, Deus antigo; Júpiter logo faz o movimento. E Marte abaixo, bélico inimigo;</p> <p>O claro Olho do Céu, no quarto assento;</p> <p>E Vênus, que os amores traz consigo;</p> <p>Mercúrio, de eloquência soberana;</p> <p>Com três rostos, abaixo, ai Diana.</p> <p>Camões, L.V. de Os Lusíadas.</p> <p><b>São Paulo, Nova Cultural, 2002, p.305.</b></p> <p>a) Identifique o modelo de Universo apresentado na estrofe acima.  b) Identifique a que corpo celeste corresponde o “claro olho do céu”.  c) Identifique a que corpo celeste corresponde “Diana”.  d) Associe os “três rostos”, com um fenômeno muito conhecido, atribuído ao movimento da Lua em torno da Terra.</p> <p>Solicitamos que os estudantes respondessem essas questões em grupo por escrito. A seguir apresentamos exemplos das respostas dos estudantes.</p>	

Quadro 12

<b>Aula 18 e 19 :5° SEMANA (12/03/2018 a 16/03/2018)</b>	
<b>Texto</b>	<b>Objetivo</b>
Os Caminhos de Newton para os “Principia”(Princípios)	Revisão dos textos para a avaliação



**Anexo III -****AVALIAÇÃO I**

- 1- Faça um breve resumo das causas principais que tornaram o paradigma aristotélico-ptolomaico bem aceito na época.**

---

---

---

---

- 2- O que levou Copérnico a imaginar um sistema diferente como explicação para os fenômenos observados? Justifique.**

---

---

---

---

---

---

- 3- Por que havia explicações diferentes para os mesmos fenômenos observados na natureza? Justifique.**

---

---

---

---

---

---

**AVALIAÇÃO FINAL II**

1- Quais das seguintes atividades envolvem expressões de cultura, criatividade e imaginação?

Justifique suas respostas.

a) Pintura b) Literatura c) Ciência d) Música e) Religião

---

---

---

---

2- Comente a seguinte frase e dê um exemplo histórico: “A produção do conhecimento científico envolve a observação e o registro cuidadoso de dados experimentais, mas os experimentos não são o único caminho para o conhecimento e são dependentes de teorias, já que a observação depende de uma concepção prévia”.

---

---

---

---

3- Em sua opinião, as concepções pessoais de cada filósofo/cientista, assim como o contexto no qual eles estavam imersos, podem ter influenciado o processo de construção das teorias?

---

---

---

---

4- Com sua luneta Galileu observou até quatro satélites girando em torno de Júpiter. De que forma essas observações contribuíram para a aceitação da teoria heliocêntrica de Copérnico?

---

---

---

---

5- Comente a seguinte afirmação, justificando seu argumento com um exemplo histórico: “A observação da natureza é simples e não permite diferentes interpretações”.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

6-Que contribuição de Kepler você destacaria na construção da teoria gravitacional?

---

---

---

---

7- Considerando o texto que você estudou, a seguinte frase é verdadeira ou falsa? Explique sua resposta.

“Newton desenvolveu a teoria da gravitação universal sem a colaboração de outros cientistas.”

---

---

---

---

8-Qual a diferença entre o pensamento de Platão e Aristóteles?

---

---

---

---

9-O que você achou do curso?