



Pós-Graduação em **Astronomia**
MESTRADO PROFISSIONAL
UEFS



**DE PLATÃO À KEPLER:
UM RECORTE SOBRE O MOVIMENTO DOS
PLANETAS NO SISTEMA SOLAR**

Autor: Maria Amanda Guimarães Santos

Orientador: Paulo César da Rocha Poppe

Feira de Santana

2023

MARIA AMANDA GUIMARÃES SANTOS

DE PLATÃO À KEPLER:
UM RECORTE SOBRE O MOVIMENTO DOS
PLANETAS NO SISTEMA SOLAR

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Astronomia – Mestrado Profissional, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Astronomia.

Orientador: Paulo César da Rocha Poppe

Feira de Santana

2023

Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado - UEFS

Santos, Maria Amanda Guimarães
S236d De Platão à Klepler: um recorte sobre o movimento dos planetas no
Sistema Solar / Maria Amanda Guimarães Santos. – 2023.
104f. : il.

Orientador: Paulo César da Rocha Poppe
Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual de
Feira de Santana. Programa de Pós-Graduação em Astronomia, 2023.

1. Astronomia - História. 2. Movimento planetário. 3. Geocentrismo.
4. Heliocentrismo. I. Poppe, Paulo César da Rocha, orient. II.
Universidade Estadual de Feira de Santana. III. Título.

CDU: 523.4



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CANDIDATO (A): MARIA AMANDA GUIMARÃES SANTOS

DATA DA DEFESA: 11 de agosto de 2023 LOCAL: Sala 03 do LABOFIS

HORÁRIO DE INÍCIO: 14:36 min

MEMBROS DA BANCA		FUNÇÃO	TÍTULO	INSTITUIÇÃO DE ORIGEM
NOME COMPLETO	CPF			
PAULO CÊSAR DA ROCHA POPPE	926.229.257-00	Membro Interno	DR	DFIS - UEFS
VERA APARECIDA FERNANDES MARTIN	104.421.058-35	Membro Interno	DR	DFIS - UEFS
NELSON VANI LEISTER	020.310.518-49	Membro Externo	DR	IAG - USP

TÍTULO DEFINITIVO DA DISSERTAÇÃO*:

DE PLATÃO À KEPLER: UM RECORTE SOBRE O MOVIMENTO DOS PLANETAS NO SISTEMA SOLAR.

*Anexo: produto(s) educacional(is) gerado(s) neste trabalho.

Em sessão pública, após exposição de 31 min, o(a) candidato(a) foi argüido(a) oralmente pelos membros da banca, durante o período de 56 min. A banca chegou ao seguinte resultado**:

- APROVADO(A)
 INSUFICIENTE
 REPROVADO(A)

** Recomendações¹:

Atender as solicitações dos avaliadores.

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, que é abaixo assinada pelos membros da banca, na ordem acima relacionada, pelo candidato e pelo coordenador do Programa de Pós-Graduação em Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Feira de Santana, 11 de Agosto de 2023

Presidente:

Paulo César da Rocha Poppe

Membro 1:

Vera Aparecida Fernandes Martin

Membro 2:

Carlos Alberto de Lima Ribeiro

Membro 3:

Candidato (a):

Maria Amanda Guimarães Santos

Coordenador do PGAstro:

Carlos Alberto de Lima Ribeiro

¹ O aluno deverá encaminhar à Coordenação do PGAstro, no prazo máximo de 60 dias a contar da data da defesa, os exemplares definitivos da Dissertação, após realizadas as correções sugeridas pela banca.



ANEXO DA ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO:
PRODUTO(S) EDUCACIONAL(IS) GERADO(S) NO TRABALHO FINAL DE CURSO

CANDIDATO (A): MARIA AMANDA GUIMARÃES SANTOS

DATA DA DEFESA: 11 de agosto de 2023 LOCAL: Sala 03 do LABOFIS

HORÁRIO DE INÍCIO: 14:36 mi

Produto 1 - Manual de oficinas Pedagógicas.
Produto 2 - Artigo Científico
Produto 3 - Atividade prática baseada no aplicativo
"Simulador de órbitas Planetárias do NAAP Lab."

Feira de Santana, 11 de Agosto de 2023.

Presidente: Pam
Membro 1: Vera M. S. Quint
Membro 2: Prof. Carlos Alberto de Almeida Ribeiro
Membro 3: _____
Candidato (a): Maria Amanda Guimarães Santos
Coordenador do PGAstro: Carlos Alberto de Almeida Ribeiro

*Este trabalho é dedicado ao meu Pai Zezinho (in memoriam), que,
batalhou durante toda sua vida para o sucesso dos seus filhos.
Gratidão eterna.*

Agradecimentos

Agradeço a Deus por me proporcionar perseverança durante toda a minha vida.

Os agradecimentos principais são ao meu querido orientador Paulo César Da Rocha Poppe por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa, pelo incentivo e pela dedicação do seu escasso tempo ao meu projeto de pesquisa. Obrigado por me manter motivada e suas valiosas contribuições durante todo o processo.

Sou grata à minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida e acreditarem que eu seria capaz de superar os obstáculos que a vida me apresentou.

Agradeço a meu namorado Alex Cunha que sempre esteve ao meu lado durante o meu percurso acadêmico e por compreender minha dedicação ao projeto de pesquisa.

Agradeço à minha equipe Alpha Panela das Galáxias, que compartilhamos momentos incríveis, sempre com o espírito de amizade. Obrigada pela oportunidade do convívio, trocas de ideias, cooperação mútua durante estes dois anos.

Aos meus professores Profa. Dra. Vera Aparecida Fernandes Martin, Profa. Dra. Ana Verena Freitas Paim, Prof. Dr. Marildo Geraldete e Prof. Dr. Carlos Alberto de Lima Ribeiro, pelas correções, ensinamentos e colaborações significativas que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

Também quero agradecer à Universidade Estadual de Feira de Santana, ao Observatório Astronômico Antares e o seu corpo docente que demonstrou estar comprometido com a qualidade e excelência do ensino.

Enfim agradeço a todas as pessoas que fizeram parte desta etapa decisiva na minha vida.

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

Resumo

A observação contínua da natureza possibilita a construção de suposições a partir do que os sentidos nos dizem. Assim, para um observador situado em qualquer lugar da Terra, a percepção de que o céu está girando é bastante natural. Não há uma imediata razão para supor que a Terra está se movendo. Para os astrônomos da Antiguidade, a Terra era enorme, estável, imóvel e ocupava o centro do majestoso Universo. No século IV a.C., o fértil pensamento dos filósofos gregos começa a fomentar uma nova percepção para este Universo. Platão (c. 427-347 a.C.), considerado um dos maiores pensadores da época, buscava uma explicação para as variações cíclicas observadas no céu, de tal modo que formulou o seguinte problema aos seus discípulos: as estrelas, astros eternos, divinos e imutáveis, descrevem trajetórias perfeitas, circulares, com velocidades uniformes em torno da Terra. No entanto, outros corpos celestes, como o Sol, a Lua e os planetas, apresentam trajetórias complicadas, chegando mesmo, no caso dos planetas, a descrever movimentos retrógrados. Então, como explicar esses peculiares movimentos no céu? Na História da Astronomia, podemos assegurar que o problema apresentado por Platão foi o marco inicial que desencadeou a busca pela compreensão do Universo até então conhecido, semeando modelos teóricos que eram confrontados com os registros observacionais sujeitos a vários erros, realizados até então sem o auxílio luxuoso de um instrumento óptico. Que importância teve as teorias então desenvolvidas, Geocêntrica e Heliocêntrica, para a História da Ciência? Como estes assuntos são tratados nos livros didáticos à luz da Base Nacional Comum Curricular? A partir da constatação de que ainda existe uma grande carência de informações sobre o ‘Problema de Platão’ e os desdobramentos científicos associados, propomos a construção dos seguintes Produtos Técnicos Educacionais (PTE): (1) Oficina Pedagógica, (2) Artigo Científico e (3) Atividade Prática baseada no aplicativo “Simulador de Órbitas Planetárias do NAAP Labs”.

Palavras-chave: História da Astronomia; Movimento Planetário; Geocentrismo; Heliocentrismo.

Abstract

The continuous observation of nature makes it possible to build assumptions based on what the senses tell us. Thus, for an observer located anywhere on Earth, the perception that the sky is rotating is quite natural. There is no immediate reason to assume that the Earth is moving. For ancient astronomers, the Earth was huge, stable, immobile and occupied the center of the majestic Universe. In the fourth century BC, the fertile thought of Greek philosophers began to foster a new perception of this Universe. Plato (c. 427-347 BC), considered one of the greatest thinkers of the time, sought an explanation for the cyclical variations observed in the sky, in such a way that he formulated the following problem to his disciples: the stars, eternal, divine and immutable stars, describe perfect, circular trajectories, with uniform speeds around the Earth. However, other celestial bodies, such as the Sun, the Moon and the planets, present complicated trajectories, even, in the case of the planets, describing retrograde movements. So how do you explain these peculiar movements in the sky? In the History of Astronomy, we can assure you that the problem presented by Plato was the starting point that triggered the search for understanding the Universe known until then, sowing theoretical models that were confronted with observational records subject to various errors, carried out until then without the aid of luxury of an optical instrument. What importance did the theories then developed, Geocentric and Heliocentric, have for the History of Science? How are these subjects dealt with in textbooks in the light of the Common National Curriculum Base? From the realization that there is still a great lack of information about 'Plato's Problem' and the associated scientific developments, we propose the construction of the following Educational Technical Products (PTE): (1) Pedagogical Workshop, (2) Scientific Article and (3) Hands-on activity based on the application "Planetary Orbits Simulator from NAAP Labs".

Keywords: History of Astronomy; Planetary Motion; Geocentrism; Heliocentrism.

Lista de ilustrações

- Figura 1 – Representação simbólica e fora de escala ilustrando os ângulos máximos, em relação ao Sol, no qual podemos observar os planetas Mercúrio e Vênus, ao nascer ou ao pôr do Sol. Mercúrio não pode ser observado a mais de 23° do Sol, e Vênus a mais de 46° 33
- Figura 2 – Representação simbólica e fora de escala do modelo cosmológico geocêntrico. Os números indicam as respectivas posições dos objetos até então conhecidos no modelo de esferas concêntricas: 1 (Terra), 2 (Lua), 3 (Mercúrio), 4 (Vênus), 5 (Sol), 6 (Marte), 7 (Júpiter) e 8 (Saturno). A última esfera, mais densa, representa a posição ocupada pelas estrelas fixas. Veja a Figura 1 para as posições relativas máximas, em relação ao Sol, de Mercúrio e Vênus. 34
- Figura 3 – Esquema ilustrativo do arranjo engenhoso proposto por Aristarco de Samos. Na fase Quarto Crescente, ou seja, quando metade da Lua está iluminada, um triângulo retângulo era formado e possibilitava uma estimativa da distância (d) Terra-Sol. Ilustração fora de escala de tamanho e distância. 38
- Figura 4 – Ilustração fora de escala do primeiro artifício de Ptolomeu, o excêntrico C, um ponto afastado da Terra onde os movimentos observados seriam realmente uniformes. 41
- Figura 5 – Ilustração fora de escala do segundo artifício de Ptolomeu, o epiciclo, um círculo de pequeno raio (em vermelho) onde o planeta é suposto mover-se com velocidade uniforme. 42
- Figura 6 – Representação simplificada e fora de escala do movimento planetário na perspectiva do modelo cosmológico geocêntrico de Ptolomeu, baseado nas ideias de Apolônio e Hiparco. Os números guardam as mesmas posições da Figura 2: 1 (Terra), 2 (Lua), 3 (Mercúrio), 4 (Vênus), 5 (Sol), 6 (Marte), 7 (Júpiter) e 8 (Saturno). A última esfera continua representando a posição ocupada pelas estrelas. 43
- Figura 7 – Representação simplificada e fora de escala da trajetória orbital de um planeta no sistema de Ptolomeu (linha vermelha, com a devida laçada - movimento retrógrado). Os movimentos circulares dos quais esta órbita teria sido originada, também estão respresentados - círculos pretos. . . 43

Figura 8 – Representação do movimento retrógrado de Marte em intervalos de 5 dias para os anos de 2018, 2020 e 2022. As curvas apresentam dimensões angulares diferentes, formas e duração. Fonte: The Astronomical Almanac (https://aa.usno.navy.mil/publications/asa).	44
Figura 9 – Representação do equanto (E), um ponto ao lado do centro do deferente (C) e oposto em relação à Terra (azul). Nesta configuração, o planeta (vermelho) move-se a uma taxa uniforme em torno do ponto descentrado, o Equanto.	45
Figura 10 – Imagem Esquerda: Representação simbólica e fora de escala do movimento planetário na perspectiva do novo modelo cosmológico Heliocêntrico de Copérnico. Os números nas órbitas guardam as mesmas posições dos astros da Figura 4. Observe, portanto, a permuta feita em as posições 1 (Terra), 2 (Lua) e Sol (5). A última esfera continua representando a posição ocupada pelas estrelas. Imagem Direita: Cópia da página da obra, <i>De Revolutionibus Orbium Coelestium</i> , com a ilustração do modelo Heliocêntrico de Copérnico.	47
Figura 11 – Reprodução do sistema Geocêntrico (híbrido) proposto por Tycho Brahe. Por um lado, o modelo preservava a proposta geocêntrica grega, Aristóteles, o que lhe permitiria explicar o motivo pelo qual os objetos caem de volta para a Terra. Por outro, carregava os elementos necessários para explicar os movimentos retrógrados no modelo Heliocêntrico de Copérnico.	48
Figura 12 – Ilustração do ‘Quadrante Mural’ empregado por Tycho Brahe, formado por uma liga metálica em arco com raio da ordem de 2,0 m. O instrumento era apoiado em uma estrutura sólida e estável, equipado com marcações angulares e visores moveis que permitiria observar as estrelas com suficiente precisão.	51
Figura 13 – Os sólidos perfeitos. Com faces, aqueles que são triângulos equiláteros: Tetraedro (4), Octaedro (8) e o Icosaedro (20). O Cubo apresenta 6 faces quadradas e o Dodecaedro 12 faces pentagonais.	54
Figura 14 – Modelo idealizado por Kepler para explicar as distâncias relativas dos planetas a partir do sistema Heliocêntrico de Copérnico. As esferas eram suficientemente espessas para incluir o epiciclo proposto por Copérnico.	55
Figura 15 – Capa do livro ‘Astronomia Nova. De Motibus Stellae Martis’, de Johannes Kepler, publicado em 1609.	60

Figura 16	– Movimento retrógrado dos planetas Mercúrio e Saturno para o ano de 2020. Notem que as dimensões e as formas das curvas retrógradas são diferentes, como observado anteriormente (Capítulo 3) para o planeta Marte em anos distintos.	64
Figura 17	– Papercraft do ‘globo celeste’. Sugestão de modelo do momento mão na massa no tópico temático I.	82
Figura 18	– Infográfico da estrutura do planeta Mercúrio. Sugestão de modelo do momento concepção teórica no tópico temático II.	84
Figura 19	– Modelo de estrutura dos planetas em 2D. Sugestão de modelo do momento mão na massa, no tópico temático II.	84
Figura 20	– Modelo de estrutura do planeta Júpiter em 3D. Sugestão de modelo do momento mão na massa, tópico temático II.	85
Figura 21	– Materialização, no sistema Heliocêntrico, das Órbitas dos Planetas do Sistema Solar.	88
Figura 22	– As órbitas dos planetas (em vermelho) para um observador situado fora do Sistema Solar.	90
Figura 23	– Movimento retrógrado de Marte observado no Stellarium para o ano de 2025.	91
Figura 24	– Layout do NAAP Labs com os vários aplicativos disponíveis.	94
Figura 25	– Janela com os links de acesso e um sumário da descrição para a atividade de Órbitas Planetárias.	95

Lista de tabelas

Tabela 1 – Valores obtidos por Copérnico (Teoria) para os períodos orbitais dos planetas comparados com aqueles adotados atualmente.	47
Tabela 2 – Valores obtidos por Copérnico (Teoria) para os raios das órbitas dos planetas (em Unidades Astronômicas - UA) comparados com aqueles adotados atualmente.	48
Tabela 3 – Valores para as excentricidades das órbitas dos oito planetas e do planeta anão Plutão do Sistema Solar.	58
Tabela 4 – 3ª Lei de Kepler: Harmônica.	62
Tabela 5 – Análise dos temas de Astronomia nos livros didáticos de Matemática, Ensino Fundamental dos anos finais (6º ao 9º ano).	70
Tabela 6 – Livros e Autores analisados, levantamento dos livros didáticos de Matemática (6º ao 9º ano).	71
Tabela 7 – Livros e Autores analisados, levantamento dos livros didáticos de Ciências da Natureza (6º ao 9º ano).	72
Tabela 8 – Análise dos temas de Astronomia nos livros didáticos de Ciências da Natureza, ensino fundamental anos finais (6º ao 9º ano).	73
Tabela 9 – Estrutura do manual de Oficinas.	79
Tabela 10 – Duração das órbitas aproximadas, em meses, dos planetas (e do planeta anão Plutão) em relação a Terra.	87

Lista de abreviaturas e siglas

<i>BNCC</i>	Base Nacional Comum Curricular
<i>IAU</i>	União Astronômica Internacional
<i>MEC</i>	Ministério da Educação e Cultura
<i>NAAP</i>	Nebraska Astronomy Applet Project
<i>PTE</i>	Produto Técnico Educacional
<i>UEFS</i>	Universidade Estadual de Feira de Santana

Sumário

1	Introdução	17
2	Revisão de Literatura: Os Pensadores e a Astronomia Grega	23
2.1	Astronomia Grega	24
2.1.1	Os Filósofos Milesianos, Escola Jônica.	25
2.1.2	Os Filósofos Pré-Socráticos, Escola Pitagórica.	27
2.1.3	Os Filósofos Pré-Socráticos, Escola Pluralista.	27
2.1.4	Os Filósofos Pré-Socráticos, Escola de Éfeso.	28
2.1.5	Os Filósofos Pré-Socráticos, Escola Atomista.	29
3	O Problema Teórico de Platão e as Observações de Tycho Brahe	30
3.1	O Modelo Geocêntrico	32
3.2	O Modelo Heliocêntrico	35
3.3	O Sistema de Ptolomeu	40
3.4	Copérnico: Uma Nova Percepção do Universo	46
3.5	O Sistema de Tycho Brahe	48
4	Kepler e a Compreensão do Movimento Planetário	53
4.1	Astronomia Nova	54
4.2	1609: As Duas Leis de Kepler	58
4.3	1619: Harmonices Mundi	59
5	O Sistema Solar na BNCC e nos Livros Didáticos	63
5.1	O Sistema Solar na Base Nacional Comum Curricular	63
5.2	Sistema Solar e os Livros Didáticos	69
6	Metodologia de Estudo	74
7	Produtos Técnicos Educacionais	76
7.1	Manual de Oficinas Pedagógicas	76
7.1.1	Tópico Temático I: O Olhar no Céu.	78
7.1.2	Tópico Temático II: Sistema Solar.	82
7.1.3	Tópico Temático III: Pensadores e Astronomia Grega	85
7.1.4	Tópico Temático IV: Problema de Platão.	86

7.1.5	Tópico Temático V: As Contribuições de Tycho, Kepler e Galileu Galilei.	88
7.1.6	Tópico Temático VI: Uso de Tecnologias: Stellarium.	89
7.2	Avaliação Geral	91
7.3	Sobre o Artigo Científico	92
7.4	Atividade Prática baseada no aplicativo “Simulador de Órbitas Planetárias do NAAP	93
8	Considerações Finais	96
	Referências	98
9	Apêndices	103

1 Introdução

Entre as ciências da natureza, a Astronomia é considerada como uma das mais antigas. O surgimento está ligado ao intrínseco ato de observar o céu, uma marca registrada que acompanhou sucessivas gerações de curiosos que procuravam, ao longo dos séculos, interpretar o intrigante e majestoso espetáculo que o céu proporciona. Para Oliveira Filho e Saraiva (2004): “As especulações sobre a natureza do Universo devem remontar aos tempos pré-históricos, por isso a Astronomia é frequentemente considerada a mais antiga das ciências”.

A observação sistemática e a percepção da regularidade de alguns eventos celestes formaram as peças iniciais e fundamentais de um complexo quebra-cabeça que envolvia uma estreita correlação entre o céu e a Terra, ou seja, de que o conhecimento dos astros podia satisfazer as necessidades prementes da espécie humana. Por exemplo, na agricultura, base da subsistência, era vital determinar o início das estações do ano, de modo a construir um calendário com as épocas corretas de plantio e colheita.

Por meio da observação sistemática do céu, aprendemos a contar e a situar os acontecimentos celestes no tempo, revelando a existência de uma “ordem natural”: as estrelas parecem fixas no interior de uma imensa esfera que roda lenta e majestosamente; alguns pontos brilhantes (planetas) movem-se em ritmos diferentes em relação às estrelas, mas retomam periodicamente as suas posições no céu; outros eram mais raros e pareciam perturbar esta ordem natural, como os eclipses e as passagens de cometas. De qualquer maneira, conhecer o céu tornou-se um imperativo de sobrevivência (GUIZZARDI, 2005; ALAM et al., 2015).

Os movimentos dos corpos celestes implicavam nas práticas de sobrevivência dos nossos antepassados, conforme Itokazu, (2009):

(...) ainda na pré-história, o domínio da agricultura dependeu da compreensão do ciclo das estações do ano, determinado pelo movimento aparente do Sol. Esse tipo de conhecimento, indispensável na identificação do momento ideal para a preparação da terra, o plantio ou a colheita, aparece cristalizado nos monumentos de pedra de diversas culturas, de Stonehenge, na Grã-Bretanha, a pedra Intihuatana em Machu Picchu, no Peru.

Antigas civilizações se esforçaram para adquirir e aperfeiçoar o conhecimento celeste. No entanto, as primeiras ideias cunhadas sobre o “Universo” eram influenciadas por percepções imediatas. Por exemplo, é muito forte a percepção de que a Terra está imóvel

no centro e que todos os astros giram à sua volta. Na verdade, essa é a impressão natural que temos, ainda hoje, quando o Sol nasce no lado Leste, eleva-se no céu atingindo a altura máxima e se põe no horizonte Oeste. Então, como explicar para os estudantes que o ‘sistema’ não funciona dessa maneira? Será que os livros didáticos apresentam uma explicação contrária, simples e convincente a esse fato real? Não sentimos a Terra rodar ou revolucionar em torno do Sol. Como explicar, então, a existência desses movimentos? O que a BNCC (Base Nacional Comum Curricular) traz sobre esses pontos? O que está sendo abordado nas Escolas sobre os fenômenos celestes?

A insuficiência de habilidades necessárias para ensinar conteúdos de Astronomia, associadas muitas vezes à carência destes nos cursos de formação, causam nos(as) professores(as) sérias dificuldades para abordar temas ligados ao movimento planetário. Langhi e Nardi (2010) acrescenta a isso mais um aspecto:

(...) conceitos fundamentais da Astronomia não costumam ser estudados nestes cursos de formação, levando muitos professores a simplesmente desconsiderar os conteúdos deste tema, [...] ou apresenta sérias dificuldades ao ensinar conceitos básicos de fenômenos relacionados à Astronomia.

O céu representa um vasto laboratório que aguça, constantemente, a curiosidade humana. O acúmulo de conhecimento durante séculos de observações pelos mais variados povos levou a Astronomia ao patamar de uma ciência interdisciplinar, reunindo fenômenos tão complexos como a evolução de uma estrela, com aqueles mais próximos do nosso cotidiano, como o movimento dos astros na Esfera Celeste¹, onde a abstração necessária aprofunda a capacidade cognitiva em relação ao funcionamento do Universo.

Entre todos os povos da Antiguidade, os gregos foram os primeiros que, além de igualmente acumular registros dos fenômenos observados, conseguiram separar uma possível interpretação divina (ou sobrenatural) dos fenômenos celestes ora observados (DREYER, 1953), ainda que carregada de concepções místicas e filosóficas. Desse modo, os filósofos gregos forneceram as primeiras explicações do Universo alicerçadas na Geometria e na Matemática, baseadas em teorias e modelos a partir dos fatos observados, o que culminaria posteriormente no que denominamos hoje de “investigação científica”.

Os antigos gregos abandonaram as explicações mágicas a respeito de determinados fenômenos, buscando uma forma racional para entender a natureza em sua complexidade. Elaboraram um primeiro modelo para o Universo, denominado de Sistema Geocêntrico, no qual colocava à Terra em uma posição privilegiada, central, com todos os outros astros

¹ Esfera Celeste, por definição, representa uma superfície esférica imaginária em torno da Terra, com raio arbitrário, na qual os astros são projetados e observados. Desenvolvido pelos antigos gregos, o conceito de Esfera Celeste é utilizado até hoje, muito útil para a compreensão dos movimentos aparentes e localização dos astros. Se o centro da Esfera Celeste for o observador, diz-se que a esfera é *topocêntrica* e, quando o centro desta coincide com o centro da Terra, diz-se que a esfera é *geocêntrica*.

girando ao seu redor. Compreenderam que as estrelas não modificavam as suas posições relativas e que o Sol, a Lua e os cinco astros errantes conhecidos na época (os planetas Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) se deslocavam em relação à abóboda celeste. As características individuais destes objetos, as relações entre si e destes com a Terra, representou a principal temática de estudo desde a Antiguidade e, de certo modo, ainda continua atualmente por meio das observações de solo e das explorações espaciais não tripuladas ao Sistema Solar.

Dos vários gregos que contribuíram para a Astronomia, Filolau de Crotona (470-385 a.C), um filósofo pré-socrático da escola pitagórica, postulou em sua época a existência de dez corpos celestes, apesar de observar apenas os sete descritos acima, em favor da fé dos pitagóricos na perfeição do número 10 (RONAN, 1984). Dos três corpos não observados no céu, um deles era o fogo, lugar destinado a Zeus, deus dos deuses, Júpiter na mitologia romana. Em torno deste fogo central, que não era visível, mas que constituía a parte central do Universo, orbita a Terra e a Antiterra, em um ciclo completo de 24 horas. Para além desses, havia círculos cada vez mais distantes que abrigavam a Lua, o Sol e os cinco planetas na ordem que conhecemos hoje: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Em seguida, as estrelas fixas e, finalmente, um fogo exterior, mas diferente daquele presente na região central, perfazendo, dessa maneira, os dez corpos celestes.

Embora represente um sistema com concepções estranhas, três pontos interessantes podem ser extraídos para análise: em primeiro lugar, uma forma esférica era atribuída a Terra e aos demais astros conhecidos, de acordo com a perfeição atribuída a este sólido geométrico formado por uma superfície curva contínua, cujos pontos estão equidistantes de um outro fixo no interior, chamado de centro; em seguida, a Terra era um objeto não privilegiado, ou seja, não estava configurada no centro do sistema concebido; por último, a Terra não está imóvel, mas descreve um círculo perfeito em torno do fogo central. Portanto, analisando o modelo de Filolau, podemos explicar e até mesmo ‘relacionar’ com alguns dos aspectos presentes no modelo estabelecido séculos mais tarde (Heliocêntrico) pelo astrônomo e matemático polonês Nicolau Copérnico (1473-1543), embora o astrônomo e matemático grego Aristarco de Samos (310-230 a.C.) já havia apresentado tal hipótese, em favor do Sol no centro do sistema, no século II a.C.

Tais revoluções científicas conduziram às mudanças históricas na forma de pensamentos e de fé, definida por Damasio (2011) como: “...a passagem da visão de mundo aristotélico para a ciência moderna na qual as questões científicas e as suas soluções devem ser apresentadas em linguagem matemática”.

O filósofo Platão (427-347 a.C), professor de Aristóteles (384-322 a.C.) e discípulo de Sócrates (469-399 a.C.), apresenta no século IV a.C. um problema observacional bastante complexo: explicar o movimento planetário. O que buscava? Uma teoria metafísica sobre a estrutura do Universo, como sendo perfeito, imutável e eterno, de modo a explicar

as irregularidades das trajetórias observadas dos corpos celestes. Sua formulação cosmológica, diferente dos demais filósofos, é uma reflexão sobre a ordem cósmica de um modo geral, na totalidade de sua origem e da interação dos elementos que a constituíam. Platão, no *Timeu*, i.e., em um dos seus diálogos, discute sobre “o que sempre existiu e nunca teve princípio [...] e o que devém e nunca é” (PLATÃO, 2001).

Para Platão, a causa da criação do Universo foi realizada a partir da bondade divina, na medida em que “vendo que o visível se encontrava não em repouso, mas se movia discordante e desordenadamente, trouxe-o da desordem para a ordem, por pensar que esta é de todo melhor” (PLATÃO, 2001). Sendo essa divindade bom e puro, “quis que, na medida do possível, todas as coisas fossem semelhantes a ele” (PLATÃO, 2001)

Métodos engenhosos e geometricamente complicados, encobrendo a simplicidade do movimento circular uniforme desejada por Platão, foram propostos apresentando, inicialmente, uma solução com o centro na Terra (Geocêntrico), cuja análise deve ser realizada a partir das históricas contribuições dos gregos Eudóxio de Cnido (c. 408-355 a.C.), Aristóteles (c. 384-322 a.C.) e Ptolomeu (c. 100-170 d.C.). No entanto, uma pergunta que deve ser formulada diz respeito à(s) vantagem(ns) que um sistema desse tipo apresentaria para explicar os movimentos, não apenas dos cinco planetas, mas também aqueles relativos aos Sol e Lua. Sabemos também que a proposta alternativa de Aristarco de Samos com o centro no Sol, Heliocêntrica, não foi bem vista e aceita na época proposta. Qual seria a justificativa para a recusa deste modelo alternativo?

Séculos mais tarde, Nicolau Copérnico retoma a hipótese apresentada por Aristarco de Samos e formula argumentos mais robustos para resolver o problema ainda aberto de Platão, incluindo na estrutura do seu pensamento científico a ideia de que o movimento das estrelas fixas deveria ser explicado admitindo que a Terra também girava em torno do seu eixo². No entanto, ao descartar toda a construção do Universo desde a época de Eudóxio, argumentos contrários seriam, obviamente, apresentados, pois, a suposição de que a Terra não fosse o centro do Universo já era, por si só, suficientemente ofensivo.

A majestosa obra que reuniria toda a percepção do Universo, *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, ou seja, “Sobre as Revoluções das Esferas Celestes”, na qual preservava, de certa forma, a antiga noção grega acerca das esferas concêntricas, foi publicada tardiamente e, apenas em seu leito de morte, que Copérnico teve contato com a mesma.

Na sequência histórica dos fatos, Tycho Brahe (1546-1601), um exímio astrônomo observacional que, ao se debruçar no problema em questão, apresentaria críticas nos dois modelos de mundo existentes até então, o Geocêntrico de Ptolomeu e o Heliocêntrico de Copérnico (BLAIR, 1990). No primeiro modelo, podemos citar (i) a posição ocupada

² Heráclides do Ponto (c. 390-310 a.C.), filósofo platônico grego do século IV a.C., acreditava que a Terra girava sobre o seu eixo, enquanto Aristarco de Samos no século III a.C. já pensava na Terra movendo-se em torno do Sol.

pelos corpos celestes, visto que, a Terra no centro, seguida da Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Saturno, Júpiter e as estrelas fixas, não estaria correta para Tycho Brahe, (ii) o excessivo uso de epiciclos, isto é, círculos onde o centro descrevia um outro círculo (deferente, excêntrico) sobre o qual cada planeta, assim como o Sol, a Lua e ainda o centro de um outro epiciclo, se deslocavam segundo um movimento uniforme em torno da Terra e (iii) o emprego do equante, um ponto fictício sem um corresponde físico ao redor do qual o movimento de um planeta é o mais próximo ao movimento uniforme. Mas, como veremos mais adiante, Tycho Brahe manteria a Terra no centro de todos os movimentos, com os demais planetas girando aos redor do Sol. Este seria o seu modelo cosmológico híbrido, geo-heliocêntrico.

No caso do modelo de Copérnico, como iremos abordar no Capítulo 3 (Item 3.5), a recusa de Tycho Brahe estava pautada nas características que eram “opostas aos princípios físicos”, quais sejam, o movimento da Terra (na qual deveria ser estática, sem os movimentos de rotação e de translação presentes no Heliocentrismo, pois não havia uma explicação física satisfatória para explicar o seu movimento), a imobilidade do Sol e da esfera das estrelas fixas. No entanto, um outro aspecto de difícil verificação experimental também fazia parte das críticas apresentadas: a ausência de observações relativas a qualquer paralaxe estelar³. Embora Tycho Brahe expressasse claramente elogios ao trabalho de Copérnico e até mesmo uma preferência pelos “absurdos” físicos do Heliocentrismo em relação ao absurdo “matemático” do movimento circular não uniforme no sistema ptolomaico⁴, ele nunca duvidou que a hipótese de Copérnico fosse falha (BLAIR, 1990).

As ideias de Tycho Brahe sobre seus dados nem sempre eram corretas, como veremos, mas a qualidade das próprias observações foi fundamental para o desenvolvimento da Astronomia Moderna.

O próximo personagem histórico, astrônomo, astrólogo e matemático alemão, Johannes Kepler (1571-1630), considerado um personagem chave da revolução científica do século XVII, estava em nítido contraste com Tycho Brahe. Era particularmente fascinado pela Matemática e a Geometria, um teórico que gostava de tratar com a Matemática do problema das órbitas.

No entanto, ao trabalhar com Tycho Brahe e agir como qualquer cientista atual que procura explicar dados experimentais em termos de leis matemáticas simples, e não apenas por meio de tabelas e números, descobre um conjunto de leis que irá fornecer uma nova visão do Universo. Conhecida como as Leis de Kepler do movimento planetário, consolida

³ Nome de origem grega que significa “alteração de posição”, ou seja, um desvio nas posições relativas observadas para os objetos, provocado por um deslocamento do observador. Veja, por exemplo, <http://www.astro.iag.usp.br/~leister/Fasc01.pdf>.

⁴ Tycho Brahe continuaria a perceber o movimento da Terra no sistema de Copérnico como um mal menor do que o uso do equante no sistema de Ptolomeu, como ele próprio expressa na carta endereçada ao astrônomo alemão Christoph Rothmann (1560-1600) datada de 1587.

o modelo Heliocêntrico para o Universo então conhecido e encontra uma forte ancoragem nas evidências observacionais de Galileu Galilei (1564-1642), realizadas no mesmo ano (1609) da publicação da obra magistral de Kepler, *Astronomia Nova*. A teoria, suportada pelas reveladoras observações oriundas de uma pequena luneta refratora, iriam, juntas, conduzir a Astronomia para um outro patamar científico.

A ciência do século XVII, na revolução apresentada por Isaac Newton (1643-1727), poria um ponto final no debate sobre o movimento planetário e unificaria à Terra e o Céu.

Ao longo desta dissertação, abordaremos alguns pontos históricos importantes: O que podemos aprender, hoje em dia, a partir da discussão épica entre as duas teorias completamente opostas? O que representou as duas teorias rivais para a ciência? Como estes assuntos são explorados nos livros didáticos, a luz da BNCC? Como tais conteúdos são trabalhados pelos professores na sala de aula?

2 Revisão de Literatura: Os Pensadores e a Astronomia Grega

O pensamento científico da antiga cultura grega foi, de fato, diferenciado quando comparado com aquele das demais civilizações da Antiguidade, a exemplo do quase abandono do caminho que conduzia ao campo das explicações místicas e sobrenaturais para o início de uma interpretação muito promissora centrada na racionalidade presente nos fenômenos da natureza. De fato, na percepção de Rosa (2012),

(...) esse novo espírito viria a ser o grande divisor entre a civilização grega e as demais civilizações daquele Período Histórico, os quais trilhariam caminhos distintos na busca de resposta às inquietações do Homem quanto a seu Destino e quanto à Natureza e seus fenômenos.

No entanto, é preciso destacar que os conhecimentos científicos inicialmente produzidos e que ora dispomos são baseados em escassas fontes históricas, alimentadas por relatos, cópias e traduções produzidas em períodos posteriores, que conduzem, inevitavelmente, em interpretações, julgamentos, erros e omissões.

No século VI a.C., as chamadas ‘cidades-Estado’ na Grécia continental já eram consideradas como prósperos centros comerciais. Os gregos viajavam e interagiam com diferentes culturas, de onde absorveram elementos da Geometria, Matemática e da Astronomia, como o Calendário, que era desorganizado e baseado na observação da Lua.

O século VI a.C. também marca o início da Filosofia Ocidental, estabelecida no sul da colônia grega da Jônia, antiga cidade-Estado de Mileto, Ásia Menor (Anatólia), considerada um importante centro comercial, cultural e econômico que possuía um sistema político organizado e soberano, no qual abrigou os primeiros filósofos milesianos, Thales de Mileto (c. 624-546 a.C.), Anaximandro (c. 610-546 a.C.) e Anaxímenes (c. 585-528 a.C.), ou seja, pensadores da escola de Mileto (ou também ‘Escola Jônica’) que além da descrição contemplativa da natureza (*phusis*), passaram a observar suas características mais específicas, a fazer perguntas sobre o princípio (*archê*) primeiro de todas as coisas e do Universo e, sobretudo, propor teorias científicas (alinhadas com um viés filosófico) para explicar os mais variados fenômenos da terra e do céu.

No entanto, registrados em rolos de papiro ou em frágeis tecidos, nada (ou quase

nada) dos escritos originais produzidos por estes filósofos sobreviveram ao tempo, sendo destruídos em conflitos, guerras, incêndios ou pela própria deterioração natural do material. Embora alguns fragmentos encontrados e relatos posteriores forneçam algumas pistas sobre a antiga cultura grega, devemos ressaltar que desconhecemos, infelizmente, todos os detalhes e pormenores que fizeram parte da longa e profícua construção do pensamento científico grego. A(o) leitora(o) interessado, sugerimos as seguintes referências: (DREYER, 1953; KAHN, 1960; PANNEKOEK, 1960; GUTHRIE, 1962-1981; BARBOSA, 1063; LAËRTIOS, 1988; REALE, 1993; MOTZ L., 1995; HOSKIN, 1999; COLLINSON, 2004; HEATH, 2011; COHEN S.M., 2011; MAZER, 2011; COUPRIER, 2011; DICATI, 2013; STOCKS, 2015; KANAS, 2012; VELÁSQUEZ-TORIBIO A.M., 2019).

2.1 Astronomia Grega

A Astronomia, praticada atualmente ou nas antigas civilizações, representa uma ciência observacional que requer um alto grau de abstração. Os astrônomos não dispõem de linhas coloridas e diferenciadas no céu que indiquem os planos fundamentais do Equador ou da Eclíptica, ou ainda setas indicativas que assinalam as posições dos pólos celestes. Em adição, eles também necessitam de uma grande dose de perseverança durante as jornadas de observação, mantendo-se firme diante das condições climáticas negativas impostas muitas vezes pela mãe natureza.

As antigas civilizações, tal qual a grega, utilizavam o movimento dos corpos celestes como instrumento para a contagem do tempo, baseado em um conhecimento superficial e muitas vezes místico. No entanto, banhados por um espírito científico, foram mais além e vestiram na Astronomia uma roupagem científica, aplicando na mesma a Matemática para compreender os fenômenos observados no céu. Portanto, seus objetivos passariam a ser diferentes, por exemplo, o de conhecer as posições relativas dos astros e de produzir um catálogo (Hiparcos) com cerca de 850 estrelas, além do impressionante cálculo da precessão dos equinócios¹, um movimento cíclico ao longo da eclíptica na direção Oeste causado pela ação do Sol e da Lua sobre a direção do eixo de rotação da Terra, marcado por um período de cerca de 26000 anos.

A observação, portanto, é a atividade fundamental na Astronomia, ato este que foi sendo aprimorado até os dias de hoje pelos antigos filósofos gregos. No que segue, apresentamos um recorte que descreve algumas das contribuições dadas para a ciência astronômica, de Thales de Mileto (c. 624–546 a.C.) à Cláudio Ptolomeu (100–170 d.C.) com o coroamento do Modelo Geocêntrico.

¹ Hiparcos compara as posições em duas épocas distintas da estrela Spica (a estrela mais brilhante da constelação de Virgem), feitas por Timocharis em 273 a.C. e pelo próprio Hipacos em 129 a.C.. Provavelmente, Hiparcos já sabia que algo afetava as posições estelares.

2.1.1 Os Filósofos Milesianos, Escola Jônica.

Entusiasmo comercial, prosperidade material, contato com outras culturas avançadas, sistema democrático de governo e indivíduos com tempo livre para reflexão e estudo, foram pertinentes para o surgimento dos primeiros filósofos gregos. Dissociados das concepções míticas – religiosas, o pensamento teórico grego foi inicialmente direcionado para a estrutura da natureza e seu funcionamento.

Chamados de Filósofos da Natureza por demonstrarem interesse em interpretar racionalmente os fenômenos observados, são também considerados como os primeiros cientistas diante das especulações apresentadas a respeito da origem e constituição do mundo natural, estabelecendo, dessa maneira, a filosofia como disciplina racional. Tales, Anaximandro e Anaxímenes eram milesianos e considerados os mais antigos.

Thales de Mileto foi uma combinação de astrônomo, astrólogo, físico, geólogo e matemático, além de comerciante e político, uma rica composição de conhecimentos absorvidos dos egípcios, babilônios e das colônias gregas da Asia Menor (Anatolia). No entanto, ressaltamos que os conhecimentos que ora citamos da filosofia de Thales são creditados aos relatos compilados pelos seus sucessores, como Platão e Aristóteles (dentre outros), muitas vezes, sem os elementos necessários para uma compreensão mais geral das ideias. Obviamente, estamos tratando de um contexto histórico que remota séculos a.C., portanto, sem as ricas bases de dados preservadas e disponíveis dos filósofos modernos, como Emanuel Kant (1724–1804) e a hipótese nebular que sustenta o modelo de formação do Sistema Solar.

A partir da formulação de teoremas, Thales de Mileto foi capaz de desenvolver um método para calcular as distâncias dos barcos até a costa. Defendeu o conceito, com os escassos conhecimentos da época, de uma Terra plana, com a concepção de um ‘disco que flutuava na água, onde o Sol, a Lua e as estrelas como vapores incandescentes navegando pelo firmamento gasoso, que mergulhavam no poente para reaparecer na nascente.’

Como pensador, indagava-se sobre a unidade das coisas e procurava separar a ciência da magia, do misticismo e da divindade, um pensamento baseado na interpretação natural do Universo que ora aflorava com a ciência helênica, diferente, portanto, da base mitológica empregada para explicar o Universo.

Em constante reflexão, tal indagação sobre a origem de todas as coisas convergia para o surgimento de uma das primeiras Cosmogonias da Antiguidade, onde o elemento ‘água’ era tomado como o princípio de partida (o princípio) para a formação de todas as coisas. Atribui-se a Thales a predição do eclipse solar de 585 a.C., baseado no Ciclo de Saros, de 18 anos, 11 dias e 8 horas (cerca de 6585,5 dias), de suma importância para prever eclipses do Sol e da Lua.

Anaximandro (c. 611-547 a.C.), matemático, geógrafo, astrônomo, filósofo e po-

lítico, sucedeu a Tales de Mileto como chefe representante da chamada Escola jônica. As mesmas atribuições dadas a Thales podem ser aplicadas a Anaximandro de Mileto: como astrônomo, percebe o movimento da sombra provocado pela marcha diurna aparente do Sol e concebe o Gnômon (relógio solar), formado por uma simples haste vertical (um cabo de vassoura) fixada perpendicularmente no chão. Uma prática de custo zero, milenar, que pode ser realizada nas Escolas para explorar os conceitos de pontos cardeais, linha meridiana, duração do ano solar, estações do ano, etc.

Como geógrafo, registrou o primeiro mapa (contornos da terra e do mar) para os mercadores de Mileto e, em sua Cosmogonia, de acordo com o historiador, biógrafo, ensaísta e filósofo grego Plutarco (c. 46–120 d.C.), concebeu uma substância primordial, *apeiron*, que significava ilimitado, infinito ou indefinido, não correspondendo a uma específica matéria do Universo físico conhecido, mas com a capacidade de produzir os quatro elementos filosóficos fundamentais, ‘água’, ‘ar’, ‘fogo’ e ‘terra’, que estariam em constante movimento e interação, mas sempre em equilíbrio cósmico. No entanto, quando ocorriam perturbações nas interações entre os contrastes cósmicos, repouso-movimento, vida-morte, quente-frio, seco-molhado, claro-escuro, etc., esta lei natural que governava o mundo e que garantia o equilíbrio entre os distintos elementos era, então, rompida, permitindo, dessa maneira, o surgimento de novas coisas, a exemplo do Sol, da Lua e das estrelas no Universo.

Em sua Cosmogonia, de acordo com as suas observações e conclusões científicas, o Sol, constituído do fogo mais puro, fornecia a luminosidade para a Lua e era tão grande quanto a Terra, representada na forma esférica onde nada a sustentava, mas que ocupava o lugar central, equidistante de todas as coisas do Universo. Em Anaximandro, temos, portanto, uma primeira percepção geocêntrica do Universo, antecedendo uma argumentação defendida pelo também filósofo Aristóteles (c. 384–322 a.C.).

Alguns fragmentos explicativos para a concepção de Cosmos são atribuídos à Anaximandro: ‘As estrelas são porções comprimidas de ar, com a forma de rodas cheias de fogo e emitem chamas a partir de pequenas aberturas...’; ‘O Sol é um círculo vinte e oito vezes maior que a Terra; é como uma roda de carruagem, cujo aro é côncavo e cheio de fogo, que brilha em certos pontos de abertura como os bicos dos foles...’.

Na sequência dos filósofos milesianos que iniciaram o pensamento científico e racional, segue Anaxímenes (c. 585–528 a.C.) que, tal qual aos predecessores, também admitia um princípio primordial, neste caso, o *infinito*, materializado por meio do conceito filosófico de ‘ar’, de modo que todas as coisas existentes refletem o resultado da condensação ou da rarefação do ar.

Em sua Cosmogonia, os astros no céu movem-se ao redor da Terra, que era banhada pelo ‘ar’, as estrelas estariam cravadas numa esfera de cristal. Reforçando, dessa maneira, a visão geocêntrica do Universo conhecido.

2.1.2 Os Filósofos Pré-Socráticos, Escola Pitagórica.

Considerado um dos fundadores da Matemática (mas também com fortes tendências a crer no sobrenatural, nas coisas divinas e na interferência destes na sua vida, de forma direta ou indireta), Pitágoras (c. 571–496 a.C.) iniciou na Itália, após deixar a sua terra natal, a ilha de Samos, uma escola baseada na ‘harmonia cósmica’ que envolvia uma curiosa combinação de Misticismo, Música, Números, Geometria e Astronomia.

No seu estudo sobre Astronomia, Matemática, Acústica e Música, tentou explicar o funcionamento do mundo estabelecendo uma relação entre a regularidades dos eventos celestes e as proporções matemáticas, que regulavam as consonâncias e dissonâncias musicais. O Cosmo era um mecanismo de origem divina e unificada. O número (*arithmós*) era o princípio de tudo, que explicava a estrutura harmônica do Cosmo, encontrando em todas as coisas, até mesmo na alma (*psique*).

A Cosmogonia proposta era diferente dos milesianos descritos anteriormente. Para Pitágoras e os seus discípulos, não era o ‘ar’ ou a ‘água’ o princípio fundamental de todas as coisas, mas os números que, quando representados por sólidos geométricos, moldaria uma forma dodecaédrica para o Universo. Na concepção dos pitagóricos, a Terra também era esférica, um conceito que se afirmava entre vários filósofos. Entretanto, nem esta e nem o Sol figuravam no centro do Universo. Tudo girava em torno de um fogo central.

Pitágoras foi o primeiro a empregar um raciocínio sistemático e dedutivo, o que lhe permitiu demonstrar que o quadrado da hipotenusa de um triângulo é igual a soma dos quadrados dos lados que formam o ângulo reto (catetos), o ‘Teorema de Pitágoras’.

Porém não existem escritos e arquivos de sua autoria, suas doutrinas conquistaram visibilidade com seus discípulos, onde os mais famosos foram Filolau (Crotona, 480-?) autor dos livros pitagóricos e teorias cosmológica, Arquitas (c. 428-365 a.C.) matemático, astrônomo, músico, político e que solucionou o problema da duplicação do cubo, Alcmeon (Crotona, 500-?), médico, que no campo da dissecação descobriu o nervo ótico e reconheceu o cérebro como centro da atividade intelectual, Xenófanes (Colofon, c. 570-480 a.C.), filósofo, sem convicção mística, não aceitava a metempsicose, defendia a terra como elemento primordial.

2.1.3 Os Filósofos Pré-Socráticos, Escola Pluralista.

Anaxágoras Nasceu em Clazomênai, atual cidade de Urla (Turquia) e faleceu em Lâmpsaco (c. 499–428 a.C.). Foi discípulo de Anaxímenes e acreditava que o Universo sempre existiu, que o Sol era uma massa incandescente e maior que o Peloponeso, uma extensa península montanhosa localizada no sul da Grécia.

Ao fundar a primeira escola de Filosofia de Atenas, possibilitou não apenas expansão do pensamento filosófico, mas também o científico que, como visto nos demais

filósofos, era carregada de ideias científicas modernas, como:

- (i) A Galáxia é um reflexo da luz dos astros não iluminados pelo Sol;
- (ii) Os astros movem-se no céu como em uma cúpula; o pólo celeste, sempre visível, fica no vértice da Terra, em posição vertical que, mais tarde, foi inclinado;
- (iii) Os cometas são uma conjunção de planetas que emitem chamas;
- (iv) As estrelas cadentes são centelhas que vibram por causa do ar;
- (v) Os ventos surgem quando o ar se torna rarefeito por causa do calor do Sol;
- (vi) O trovão é o resultado da colisão de nuvens, enquanto o relâmpago é o resultado da violenta fricção entre elas;
- (vii) O terremoto é o resultado da retração de ar no interior da Terra.

Por negar a divindade do Sol, da Lua e das estrelas, e ainda a própria luz da Lua, por seu ensinamento de ser o Sol maior que o Peloponeso, foi acusado de impiedade, perseguido, indo refugiar-se em Lâmpsaco, onde fundou outra Escola de Filosofia. Possuía uma visão sobre o Sol e a Lua como sendo uma ‘pedra vermelha’ e uma ‘terra’, respectivamente, questionando a ideia que esses corpos eram divindades. Propôs o princípio Homeomeria², unindo a teoria do “ser” imutável, e a existência de inúmeras presenças de realidades, tudo formando por infinitos elementos iguais entre si.

De acordo com alguns autores como Guthrie (1981), Arquélau (século V a.C.) foi discípulo de Anaxágoras e mestre de Sócrates. Levou a filosofia natural da Jônia para Atenas e, como naturalista, afirmava que a água evaporava devido ao calor. Além da filosofia da natureza, interessou-se com a moral, para ele o princípio do Movimento era a separação do quente do frio, com isso procurou explicar a formação da Terra e a criação de animais e humanos. Em seu raciocínio, o Sol é o maior dos astros e todo o Universo é infinito. Defendia que a Terra era plana, com a superfície pressionada em direção ao centro; pois localizando-se ao mesmo nível, o Sol nasceria e se levantaria ao mesmo tempo em todos os lugares.

2.1.4 Os Filósofos Pré-Socráticos, Escola de Éfeso.

Heráclito (c. 540–480 a.C.), considerado o “Pai da Dialética”, afirmava em sua construção filosófica que o Universo não foi criado e que sempre existiu, contrária, portanto, à Cosmologia criacionista descrita na teoria do “átomo promodial” proposta em 1931 pelo padre católico, astrônomo, cosmólogo, matemático e físico belga, Georges Henri

² Este termo foi cunhado para explicar a sua doutrina (de Anaxágoras) da pluralidade infinita de realidades materiais qualitativamente diferentes. Portanto, toda parte elementar igual ao conjunto que com outras partes conforma, em onde o todo composto pelas partes é similar às partes mais elementares e indivisíveis da matéria.

Joseph Édouard Lemaître (1894-1966), comumente conhecida como Big Bang³.

Considerava, por um lado, a existência de um fluxo natural no Universo, mas, por outro, o equilíbrio. O fogo era o elemento primordial de todas as coisas, tudo originava por rarefação e fluía como um rio. Um só Cosmos que nasce e é consumido pelo fogo, em ciclos eternos. Em sua dialética, “o fogo condensado, se umidifica transformando em água, se solidificando e transformando em terra, de onde nasce todas as coisas, o caminho definido por ele como *para baixo*”. O caminho, *para cima*, segundo Heráclito, era “derretendo a terra consegue-se água, que se transforma em vapor, rarefazendo-se o vapor volta a ser fogo.”

Heráclito acreditava que o movimento do Sol, Lua e estrelas eram “barcos com as concavidades voltadas para a Terra, carregando chamas brilhantes. O Sol mais brilhante e quente localizado no ‘espaço puro e claro’, as estrelas de menor brilho e menos quente, mais distantes da Terra, a Lua próxima da Terra, encontrava-se num ‘espaço não puro’, a ‘escuridão.’”

2.1.5 Os Filósofos Pré-Socráticos, Escola Atomista.

Leucipo de Abdera (século V a.C.), considerado o mestre de Demócrito de Abdera (c. 460–371 a.C.), são os representantes do atomismo e extraíram dos filósofos anteriores, a exemplo de Parmênides (c. 515–445 a.C.) e de Heráclito, elementos que permitiam descrever a natureza por meio de fenômenos microscópicos e independentes do observador. Segundo Aristóteles, talvez tenha sido o verdadeiro criador do atomismo: uma matéria pode ser dividida no seu máximo chegando a uma partícula indivisível chamada de átomo.

O pensamento atomista foi fundamental para o desenvolvimento da filosofia grega. Defendiam o ponto de vista de que a matéria é constituída de átomos, um conceito que foi retomado apenas no século XIX com o químico, meteorologista e físico britânico John Dalton (1766-1844), considerado o fundador da teoria atômica moderna da matéria. Para Dalton, um elemento é constituído de átomos idênticos, do ponto de vista físico e químico. Logo, elementos diferentes, apresentam átomos diferentes. Em 1804, após estudar a composição das moléculas de CH₄, C₂H₄, CO e CO₂, estabelece a *Lei das Proporções Múltiplas*, uma das leis fundamentais da Estequiometria⁴, na qual afirma que se dois elementos químicos formarem mais de um composto, a proporção da massa do segundo elemento que se combina com uma massa fixa do primeiro elemento será sempre proporções de inteiros simples (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018).

³ No estudo moderno da Cosmologia, o *Princípio Cosmológico de Copérnico* atesta que a particular posição que o planeta Terra ocupa no Universo não difere em nada de qualquer outro ponto em consideração. Este princípio é a base de sustentação para a *Teoria do Big Bang* no qual assegura um instante inicial de criação e um Universo homogêneo e isotrópico em qualquer lugar. Nesta teoria, o Universo foi muito mais denso e quente no passado.

⁴ Em Termodinâmica, refere-se a uma mistura perfeita de um combustível e o ar.

3 O Problema Teórico de Platão e as Observações de Tycho Brahe

Os vários filósofos destacados anteriormente, além de tantas outras contribuições não mencionadas, pavimentaram caminhos fundamentais não apenas para o desenvolvimento da Astronomia, mas também para a estruturação das Ciências ao tratar de teorias, medidas e modelos. Por exemplo, ao analisar um determinado fenômeno, várias hipóteses podem ser inicialmente levantadas e estas devem ser necessariamente discutidas e avaliadas antes da etapa que convencionamos chamar de ‘formulação de teorias’. Estas, por sua vez, devem ser simples e concordar plenamente com os resultados extraídos de experimentos e observações, o que vai permitir o desenvolvimento de modelos ancorados na Matemática.

Platão (c. 427–347 a.C.) nasceu em Atenas, foi professor de Aristóteles de Estagira (c. 384–322 a.C.) e discípulo do ateniense Sócrates (c. 469–399 a.C.). Em torno de 385 a.C., fundou a *Academia*, uma escola de ensino e pesquisa que seria o protótipo de todas as Universidades. Discorreu sobre várias áreas do conhecimento, como Aritmética, Astronomia, Artes, Educação, Epistemologia, Ética, Geometria, Matemática, Metafísica, Política, Psicologia e Teologia (COLLINSON, 2004).

Mas, dentre os vários estudos que podemos discorrer, vamos destacar nesta Dissertação os movimentos que, além do Sol e da Lua, cinco outros objetos celestes (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) realizavam entre as estrelas fixas. A observação do movimento planetário foi a formulação histórica do chamado ‘Problema de Platão’.

No estudo observacional dos corpos celestes, Platão ponderou, junto com outros intelectuais da época, sobre as variações cíclicas observadas no céu. Como explicar os movimentos celestes?

As ideias de Platão estavam fundamentadas nos ensinamentos de Sócrates e também na concepção de coisas perfeitas, eternas e imutáveis. As estrelas, por exemplo, pertenciam a este particular reino e descreviam em torno da Terra movimentos circulares absolutos, trajetórias perfeitas com velocidades uniformes. Entretanto, outros corpos como os planetas (chamados de ‘errantes’, com origem grega) descreviam entre as estrelas trajetórias relativamente complicadas, fora dos esperados movimentos circulares. Em geral, apresentavam movimentos progressivos entre o fundo de estrelas fixas, mas, em determinados momentos, descreviam um curioso movimento retrógrado no céu. Então,

como explicar estes registros observacionais, ou seja, as variações angulares nas posições aparentes desses astros errantes? Quais as possíveis combinações de trajetórias circulares perfeitas que os planetas realmente percorrem no céu?

Na História das Ciências, o problema ora apresentado marca, provavelmente, o primeiro confronto esperado entre teoria e observação, o qual estará presente em inúmeros contextos científicos. Neste particular caso, havia ainda um fator limitante, qual seja, o total desconhecimento das distâncias que separam os objetos errantes (planetas) da Terra, um problema que irá se arrastar por mais de dois milênios.

Desde a formulação do problema por Platão no século IV a.C., a História da Astronomia vai mostrar que a determinação das distâncias dos objetos celestes era um problema totalmente aberto e de difícil solução. Observações a olho nu revelaram os primeiros objetos astronômicos e, apenas com o advento dos instrumentos ópticos a partir da visão revolucionária proporcionada em 1609 pela pequena luneta do astrônomo florentino Galileu Galilei (1564–1642), o Universo foi sendo descortinado e novos objetos foram sendo, então, revelados.

No entanto, foi apenas no século XVIII que passamos a conhecer as denominadas ‘nebulosas’, objetos difusos, enigmáticos que, de acordo com o filósofo prussiano Immanuel Kant (1724–1804), seriam sistemas estelares como a Via Láctea, ‘Universos-Ilha’ que seriam mapeados em seguida pelo astrônomo alemão William Herschel (1738-1822), o maior construtor de telescópios da época. Embora detectadas e compiladas na forma de catálogos, a localização, dentro ou fora da Via Láctea, permaneceria sem resposta por mais de dois séculos, levando, em 1920, ao “Grande Debate¹”, um confronto direto entre os astrônomos norte-americanos Harlow Shapley (1885-1972) e Heber Doust Curtis (1872-1942) na sede da Academia de Ciências Americana (Washington). O primeiro defendia que as nebulosas faziam parte da Via Láctea. Para Curtis, ao contrário, eram sistemas externos.

Mas, diante da mesma dificuldade reportada anteriormente, ou seja, do necessário conhecimento das grandes distâncias envolvidas no problema, dos planetas ou das nebulosas recém descobertas, o debate terminaria sem um vencedor. A questão foi resolvida somente em 1923 quando o também astrônomo norte-americano Edwin Powell Hubble (1889-1953) conseguiu estimar a distância até a nebulosa de Andrômeda (M31), demonstrando que estes intrigantes objetos eram, de fato, externos à Via Láctea, como Curtis afirmava.

O intrincado movimento dos planetas agora referenciado como o Problema de Platão foi, sem dúvida, o mais importante desafio que os astrônomos de outrora carregaram desde o século IV a.C. até o século XVII com a colossal obra de Isaac Newton (1643-1727).

¹ <https://apod.nasa.gov/debate/debate20.html>

Hoje, caracterizamos o contexto como um problema de ‘movimento relativo’ que comportou três distintas soluções: (i) com o centro na Terra (Geocêntrico), (ii) com o centro no Sol (Heliocêntrico) e (iii) um sistema híbrido que combinava aspectos dos dois modelos anteriores, todo este contextualizados a seguir.

3.1 O Modelo Geocêntrico

O ato de dedicar alguns minutos para olhar e contemplar o céu a noite representa uma prática que remonta os nossos antepassados. No entanto, esta simples atividade milenar parece ter pouca importância nos dias de hoje, como pode ser constatado, nas atividades de extensão realizadas no planetário ou nas sessões de observação do céu com os telescópios do OAA/MACT-UEFS (<http://www.antares.uefs.br/>, comunicação pessoal). Poucos são aqueles (estudantes ou público em geral) que reconhecem algum agrupamento aparente de estrelas (constelação), estrelas brilhantes ou planetas no céu.

O Cruzeiro do Sul, a constelação mais simbólica do Hemisfério Sul, representa um agrupamento aparente de estrelas que guarda a forma de uma cruz, movendo-se como se estivessem fixas e girando com a imensa abóboda celeste. Então, olhando a partir desta perspectiva, ou acompanhando o nascer e o ocaso diário do Sol e da Lua (de mais fácil percepção para qualquer pessoa), não nos parece nenhum absurdo pensar e propor a Terra imóvel e localizada no centro do Universo até então conhecido. Este foi o primeiro modelo proposto como solução ao problema apresentado por Platão, referenciado na literatura como Geocêntrico.

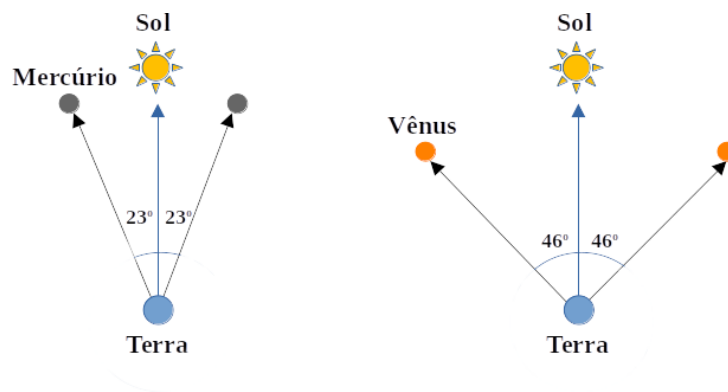
Então, nesta concepção que aqui identificamos como ‘intuitiva’, o modelo atesta que todas as estrelas fazem parte de uma grande esfera que envolvia a Terra posta em condição estacionária. Por conseguinte, todas as estrelas estão situadas a uma mesma distância e realizam diariamente uma volta completa solidárias à Esfera Celeste. Em torno do polo, todas as estrelas descrevem trajetórias circulares com velocidades uniformes, satisfazendo, dessa maneira, o pensamento de Platão.

Esta construção resolvia de forma bastante simples o movimento estelar. No entanto, para explicar o percurso diário do Sol entre as estrelas e também ao redor da Terra, o processo não era tão simples assim e necessitava de uma outra esfera distinta daquela anteriormente proposta para as estrelas. Ainda, era preciso levar em consideração as características do movimento ao longo do ano (i.e., das estações), como o período de tempo entre o nascer e o ocaso, as respectivas alturas e as oscilações do Sol para os lados Norte e Sul.

Ao cair da noite, entravam em cena outros objetos que também descreviam movimentos mais complicados entre as estrelas. Em grego, a palavra ‘planan’ = planeta, significa ‘errante’, e cinco deles eram conhecidos e perfeitamente visíveis no céu noturno

(Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno). Em condições favoráveis, Vênus também pode ser observado durante a parte clara do dia. Em relação ao Sol, este planeta não se afasta mais do que 46 graus. No caso de Mercúrio, o afastamento é ainda menor, de apenas 23 graus, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Representação simbólica e fora de escala ilustrando os ângulos máximos, em relação ao Sol, no qual podemos observar os planetas Mercúrio e Vênus, ao nascer ou ao pôr do Sol. Mercúrio não pode ser observado a mais de 23° do Sol, e Vênus a mais de 46°.



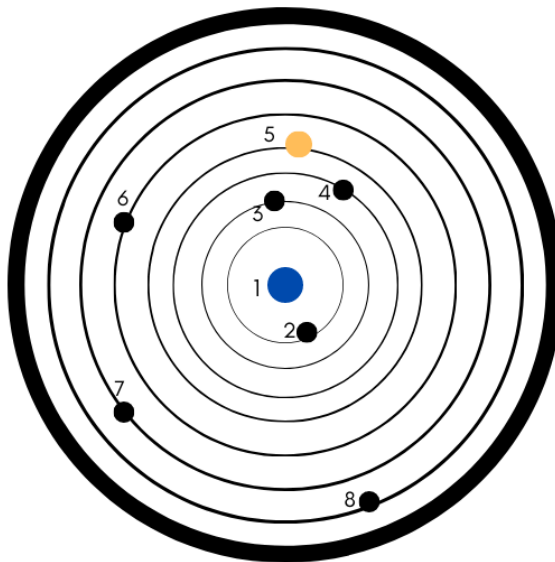
Fonte: De autoria própria.

Além de compartilhar o movimento diário das estrelas, estes objetos apresentavam movimentos peculiares próprios, ou seja, descreviam movimentos progressivos na maior parte do tempo, mas também um intrigante movimento retrógrado entre as estrelas. A solução empregada também passou pela adoção de esferas concêntricas e neste arranjo, Saturno, por descrever um movimento mais lento no céu, foi suposto de forma correta ser o mais distante, ocupando, dessa forma, a esfera mais próxima das estrelas.

As observações sistemáticas indicavam que as próximas esferas deveriam ser ocupadas por Júpiter e Marte, pois, quando comparados ao movimento anual aparente do Sol, estes astros levavam um intervalo de tempo superior a 12 meses. Então, seguindo este raciocínio, o Sol foi posto logo após a esfera de Marte e, entre este e a Terra central, as esferas de Vênus, Mercúrio e também da Lua (o objeto mais próximo da Terra).

A conclusão final era óbvia: estava pronto o primeiro modelo cosmológico imaginário de natureza geocêntrica, isto é, a Terra fixa no centro das esferas concêntricas girantes (Figura 2). O passo seguinte era verificar a robustez do modelo de esferas invisíveis com as observações. Curiosamente, uma vez ajustado alguns parâmetros (dimensões das respectivas esferas, distâncias e velocidades), os resultados mostravam-se bastante promissores. Então, a partir desta hipotética construção, os gregos perceberam que as esferas representavam a solução para o problema de Platão e também para outras variações cíclicas observadas. Logo, bastava apenas, em princípio, a introdução de novas esferas concêntricas e bem ajustadas.

Figura 2 – Representação simbólica e fora de escala do modelo cosmológico geocêntrico. Os números indicam as respectivas posições dos objetos até então conhecidos no modelo de esferas concêntricas: 1 (Terra), 2 (Lua), 3 (Mercúrio), 4 (Vênus), 5 (Sol), 6 (Marte), 7 (Júpiter) e 8 (Saturno). A última esfera, mais densa, representa a posição ocupada pelas estrelas fixas. Veja a Figura 1 para as posições relativas máximas, em relação ao Sol, de Mercúrio e Vênus.



Fonte: De autoria própria.

No entanto, este processo seguiria um caminho arriscado e tornaria o modelo proposto distante da simplicidade postulada por Platão. De fato, um dos primeiros arranjos foi apresentado pelo filósofo, astrônomo e matemático Eudócio de Cnido (c. 408–355 a.C.), conhecido na literatura como o ‘Modelo de Esferas Homocêntricas’.

O modelo atribuía uma esfera a cada planeta e estas deveriam acomodar-se umas nas outras de forma concêntrica com a Terra, supostamente no centro comum dessas esferas. Porém, percebeu-se que uma única esfera dedicada para cada planeta, girando em sua própria velocidade, não poderia explicar os movimentos diretos e retrógrados individuais observados, assim como os movimentos do Sol e da Lua. A solução foi introduzir esferas subsidiárias de modo a reproduzir os movimentos observados, considerados todos circulares. Isso era possível, pois, neste arranjo mecânico, o eixo da esfera externa poderia estar conectado à superfície de uma esfera ainda maior. Logo, o número de esferas poderia ser ampliado de modo a representar os movimentos mais complexos observados.

Então, para contemplar este novo cenário, um total de 47 esferas em um complicado arranjo foi proposto (COHEN S.M., 2011; MAZER, 2011). Infelizmente o livro “On Velocities” escrito por Eudócio e que descrevia esta teoria em detalhes, foi completamente perdido. Entretanto, Aristóteles (c. 384–322 a.C.), um dos mais influentes filósofos gregos e contemporâneo de Eudócio, sabia, provavelmente, da existência do livro, pois existe um relato do conceito das Esferas Homocêntricas de Eudócio em sua obra (STOCKS, 2015).

Ao se dedicar ao problema, Aristóteles expande as ideias anteriores de Eudóxio e acrescenta 29 outras esferas concêntricas, levando a um complexo conjunto de 76 esferas para explicar o comportamento irregular observado para os cinco planetas. Ainda, em sua narrativa filosófica, Aristóteles acreditava que o Universo era finito no espaço, mas eterno no tempo. Embora o modelo proposto esteja incorreto, como sabemos, o trabalho inicial de Eudóxio transmite uma mensagem de suma importância para todos os sucessores que se dedicam ao estudo astronômico, ou seja, de que as observações devem guiar os astrônomos em sua busca por modelos dos movimentos dos corpos celestes.

Na sequência da evolução das ideias, o astrônomo grego contemporâneo de Aristóteles, Heráclides Ponticus (c. 390–310 a.C.), sugeriu que seria mais simples a Terra girar em torno do seu eixo do que todo o céu carregado de astros orbitar em torno dela (COUPRIER, 2011).

A conclusão de Heráclides já aponta que a Terra não possui todos os atributos necessários que permitem justificar as observações. Esta ideia será incorporada no século XV com o polonês Nicolau Copérnico. A outra percepção seria apresentada pelo astrônomo e matemático grego Aristarco de Samos (c. 310–230 a.C.), de que a Terra revoluciona em torno do Sol. Mas, como veremos a seguir, tais ideias contraditórias não prosperaram e o modelo de Eudóxio-Aristóteles permaneceria como o pensamento cosmológico dominante.

3.2 O Modelo Heliocêntrico

A estruturação hipotética de camadas concêntricas atribuídas ao modelo Geocêntrico permitia que o mesmo explicasse os movimentos gerais dos objetos na Esfera Celeste com boa aproximação, embora, de forma crítica, determinados detalhes observacionais escapavam do controle, fato perfeitamente compreensível para uma teoria científica em construção no contexto histórico ora apresentado.

De qualquer forma, pontuamos que os filósofos gregos traçaram um caminho diferente das demais civilizações. Thales de Mileto (c. 624–546 a.C.), Anaximandro (c. 610–546 a.C.) e Anaxímenes (c. 585–528 a.C.), considerados os primeiros filósofos milésianos, eram abertos a novas culturas, ideias e informações, ocidentais ou orientais, voltadas para o desenvolvimento de uma reflexão natural e racional do mundo.

Essa nova linha de pensamento científico, radicalmente diferente de uma base mística para explicar o Universo, permitiu, baseado em hipóteses distintas, o surgimento no século III a.C. de um modelo contrário ao vigente Geocêntrico, formulado pelo astrônomo e matemático grego Aristarco de Samos.

A nova proposta apresentava uma ideia muito mais simples que removia o intrincado sistema imaginário de esferas concêntricas. Na percepção de Aristarco de Samos, o

Sol estaria no centro do Universo até então conhecido. Comparativamente, bastava apenas trocar na Figura 2 as respectivas posições da Terra + Lua e do Sol, guardando a mesma configuração para os demais planetas e as estrelas. Dessa maneira, surgia o sistema Heliocêntrico, porém, ainda pautado na concepção do movimento circular dos objetos. O círculo, sendo a mais perfeita de todas as curvas, era considerado, portanto, como a uma única possibilidade para representar os movimentos dos corpos celestes.

Perceba que neste modelo a Terra era nada mais do que um planeta que orbitava o Sol e que rotacionava em torno do seu próprio eixo uma vez por dia, exatamente o que é descrito nos livros didáticos. Então, de acordo com (RUTHERFORD F.J., 1970), Aristarco de Samos procurava explicar todos os movimentos observados supondo uma Esfera Celeste imóvel, de modo que as inclinações das trajetórias do Sol, da Lua e dos planetas conhecidos estariam relacionadas com a inclinação do eixo da Terra. Ainda, as variações anualmente observadas, incluindo o movimento retrógrado dos planetas, poderiam ser também explicadas supondo que tanto a Terra, como os demais planetas, revolucionavam em torno do Sol.

Os registros das contribuições de Aristarco de Samos foram perdidos ao longo do tempo, mas, felizmente, foram reportadas de alguma forma por outros importantes pensadores. Por exemplo, de acordo com Arquimedes de Siracusa (c. 287 a.C. – 212 a.C.), considerado um dos principais cientistas da antiguidade clássica, Aristarco teria escrito um livro com as ideias contrárias ao modelo Geocêntrico, no qual colocava a Terra em órbita, como os demais planetas, em torno do Sol.

Mas, por que a convicção heliocêntrica que ora defendia teve pouca repercussão e não abalou o modelo então vigente? Aristarco afirmava que o Sol, de maior dimensão e fonte primária de luz, deveria estar no centro do Universo, e que este astro estaria, de acordo com os seus estudos, pelo menos 18 vezes mais distante que a Lua. Como ele chegou nesta conclusão?

A distância da Terra ao Sol feita por Aristarco representa um daqueles exemplos que reforçam a necessidade de observarmos a natureza, um exercício contínuo que os cientistas fazem e um aspecto que está ficando cada vez mais distante dos estudantes, a partir de experiências vivenciadas no Museu Antares de Ciência e Tecnologia do Observatório Astronômico Antares - UEFS (<http://www.antares.uefs.br/> - comunicação pessoal).

Apesar do relato feito no Museu Antares de Ciência e Tecnologia do Observatório Astronômico Antares - UEFS de que alguns estudantes não haviam notado a presença da Lua no céu durante a parte clara do dia, uma atividade simples permite resgatar a brilhante ideia que teve Aristarco de Samos para medir a distância da Terra ao Sol, em unidades da distância Terra-Lua, baseando-se nas fases da Lua. Para tal, reforçamos que a Lua também apresenta o movimento diário de Leste para Oeste, comum ao Sol e as estrelas. No entanto, este astro move-se para o Leste, relativamente ao fundo de estrelas,

de maneira mais rápida do que o Sol. Em outras palavras, a Lua aparece no horizonte Leste do observador cerca de 1 hora mais tarde a cada dia.

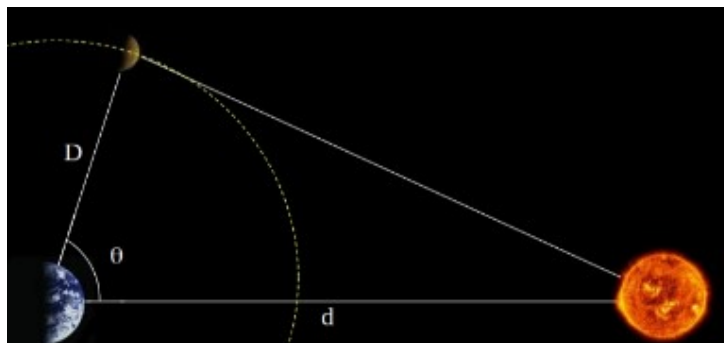
Então, observando sistematicamente este astro, veremos que na posição oposta ao Sol poente, a face voltada para o observador aparece mais brilhante e com a forma de um disco perfeito (Lua Cheia). Dia após dia, a Lua vai aparecendo cada vez mais tarde e menos Cheia, surgindo quase de manhãzinha, com a forma de um fino arco. Mas, ao findar de aproximadamente 14 dias, com o nascer próximo do Sol, helíaco, e seguindo este na abóboda celeste, não conseguiremos notar a presença da Lua no céu (Lua Nova). Depois desta fase, voltamos a notar a Lua no céu no lado Oeste, ao pôr do Sol, com a forma de um fino arco. Então, a medida que a Lua se afasta do Sol, em direção ao lado Leste, a sua imagem vai sendo preenchida: inicialmente, até a metade de um disco; depois, ao findar da outra semana, novamente com a forma de um disco completo, e o ciclo lunar se repete a cada Lua Cheia.

Com relação à trajetória lunar, sabemos que esta é relativamente próxima da trajetória anual percorrida pelo Sol, ou seja, veremos sempre a Lua próxima do plano da eclíptica. Porém, a trajetória realizada é ligeiramente inclinada em relação à do Sol. Caso não fosse assim, a Lua apareceria exatamente na frente do Sol em cada Lua Nova, ocasionando um eclipse solar, e estaria exatamente em oposição ao Sol em cada Lua Cheia, mergulhada na sombra da Terra e provocando um eclipse lunar.

A atividade prática mencionada anteriormente envolve, inicialmente, a caracterização das fases da Lua em uma contínua sequência que decorre das posições relativas entre a Lua, o Sol e a Terra. Portanto, as fases da Lua representam os aspectos de sua face iluminada quando vista da Terra. Em seguida, as respectivas definições para as fases em função do movimento orbital em torno da Terra: Cheia, Quarto Minguante, Nova e Quarto Crescente.

A percepção dos dois astros no céu, Sol e Lua na fase Quarto Crescente (ou Minguante), levou para Aristarco de Samos a construção de um triângulo retângulo Terra-Sol-Lua, com vértice de 90° na Lua (Figura 3). De acordo com Aristarco, o intervalo de tempo que a Lua leva para sair da fase Nova para a Quarto Crescente, uma medida do ângulo θ , forneceria uma estimativa da distância (d) Terra-Sol, que no caso seria da ordem de vinte vezes mais distante que a medida (D) Terra-Lua.

Figura 3 – Esquema ilustrativo do arranjo engenhoso proposto por Aristarco de Samos. Na fase Quarto Crescente, ou seja, quando metade da Lua está iluminada, um triângulo retângulo era formado e possibilitava uma estimativa da distância (d) Terra-Sol. Ilustração fora de escala de tamanho e distância.



Fonte: De autoria própria.

Embora saibamos do erro associado ao resultado prévio quando confrontado com os valores atuais conhecidos para as respectivas distâncias Terra-Lua (~ 384.400 km, média orbital centro a centro) e Terra-Sol (Unidade Astronômica, cerca de $149.597.870$ km, também um valor médio orbital)², é importante destacar nesta análise a genealidade apresentada na formulação geométrica do problema, na qual registra perfeitamente a essência da pesquisa astronômica, ou seja, de ser altamente abstrata quando comparada com as atividades práticas fartamente disponíveis nos laboratórios de pesquisas e didáticos de Física, Química e Biologia.

No caso particular da Astronomia, temos o Universo como o laboratório desta ciência, certamente o de mais fácil acesso e democrático, mas que não oferece de forma direta (salvo os meteoritos, com informações limitadas ao Sistema Solar) a possibilidade de explorar os seus mais variados constituintes. Logo, a enorme capacidade imaginativa, fortemente presente nos astrônomos gregos, deve ser pontuada e ressaltada neste contexto histórico.

Nesta mesma linha de percepção do intelecto humano, também podemos salientar a determinação da distância Terra à Lua feita pelo astrônomo grego Hiparco de Niceia (c. 190–120 a.C.) utilizando-se de um eclipse lunar. Na verdade, a História da Astronomia revela várias outras fascinantes percepções mentais, a exemplo da descoberta da precessão dos equinócios feita por Hiparco (da Rocha-Poppe et al. em construção) ao resgatar as medidas da longitude eclíptica da estrela Spica (α Virgem) realizadas 144 anos antes pelo filósofo e astrônomo Timocharis de Alexandria (c. 320–260 a.C.).

Os dois problemas que precisavam ser solucionados diziam respeito (i) as inclinações das trajetórias do Sol, da Lua e dos planetas ao longo do ano e (ii) os movimentos retrógrados observados.

² https://www.iau.org/static/resolutions/IAU2012_English.pdf

No modelo de Aristarco, a Terra era mais um planeta que girava em torno do seu próprio eixo com uma periodicidade regular, uma vez por dia, e revolucionava, assim como os demais planetas, em torno do Sol em um ciclo particular de 1 ano. Estes fatos permitiam explicar as inclinações aparentes observadas e os intrigantes movimentos retrógrados realizados. Portanto, a Esfera Celeste era posta imóvel e as demais esferas condicionantes no modelo Geocêntrico de Eudóxio-Aristóteles não faziam mais sentido. Era um modelo mais simples na qual também empregava movimentos circulares uniformes. No entanto, tal modelo não prosperou e foi criticado pelos opositores a tal ideia.

A primeira crítica era óbvia e direta: a Terra é imóvel e está localizada no centro do Universo, o lugar natural. Uma segunda crítica era baseada na possível suposição de que a primeira estaria incorreta. Ora, se a Terra movimenta-se em torno do Sol, como afirma esta nova teoria, ela também deverá apresentar o movimento peculiar retrógrado em relação as estrelas fixas. Então, como este modelo pode provar essa evidência observacional?

Esta é uma questão delicada que Aristarco não teria como responder. Na verdade, a resposta para esta pergunta e que validaria o modelo proposto somente seria encontrada depois de mais de dois mil anos pelo matemático, físico e astrônomo alemão Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846). Então, qual o fenômeno que os astrônomos gregos daquela época não conheciam? O desvio anual das estrelas fixas.

Em 1838, Bessel, ao longo de 4 anos de observação e por meio de um modesto telescópio, consegue medir a paralaxe da estrela binária visual 61 Cygni na constelação de Cygnus (Cisne, Hemisfério Norte), obtendo um valor de $0,3136 \pm 0,0202$ segundos de grau, um resultado ligeiramente superior ao valor atual adotado: $0,2860 \pm 0,0289$ segundos de grau (Gaia Collaboration et al., 2021). Mas, qual é a real dificuldade desta medida? A mesma abordada no Capítulo 3: as distâncias envolvidas, o que torna a percepção do desvio extremamente difícil a olho nu. Na Astronomia, a paralaxe estelar³ é utilizada para medir a distância das estrelas utilizando o movimento da Terra em sua órbita. Por exemplo, a estrela mais próxima do Sol, Próxima Centauri, possui paralaxe de 0,762 segundos de grau⁴.

Aristarco poderia ter a compreensão das distâncias envolvidas e da dificuldade de medir o referido desvio, mas não seriam argumentações fortes que sustentassem o modelo Heliocêntrico, o qual acabou sendo diluído entre os pensadores gregos. Mas, este modelo ressurgiria 18 séculos mais tarde, em conflito com a versão Geocêntrica promulgada por Cláudio Ptolomeu (c. 100–170 d.C.).

³ Ver definição na página 13.

⁴ Lembrando que do horizonte ao zênite do observador existem 90 graus. Em cada grau angular existem 60 minutos de grau e em cada minuto, 60 segundo de grau. Então, se o diâmetro da órbita da Terra fosse igual ao de uma moeda de 1 Real, a estrela Próxima Centauri estaria localizada a uma distância da ordem de 2,4 km.

3.3 O Sistema de Ptolomeu

Com a saída do modelo alternativo de Aristarco de Samos, a teoria Geocêntrica continuaria a sua jornada de ajustes para melhor explicar (com mais rigor) as mais distintas observações relativas a cada objeto celeste. Mas, em uma linha de pensamento diferente das esferas concêntricas interligadas de Eudóxio e Aristóteles, uma outra perspectiva de solução para o problema de Platão seria apresentada pelos gregos Apolônio de Perga (c. 262–190 a.C.), matemático no campo da geometria pura, e Hiparco de Niceia (c. 190–120 a.C.), um extraordinário astrônomo que deixaria uma base bastante sólida para os seus sucessores.

As ideias assim combinadas de Apolônio e Hiparco levariam ao desenvolvimento de um sistema na qual cada planeta mover-se-ia em um círculo cujo centro também se movimentaria sobre um outro círculo, ou seja, o sistema de epiciclos excêntricos. Por volta de 150 d.C., tal contribuição seria o alicerce para o desenvolvimento da teoria geocêntrica de Claudius Ptolomeu de Alexandria (c. 100–170 d.C.) e a base até meados do século XVII para a Astronomia⁵.

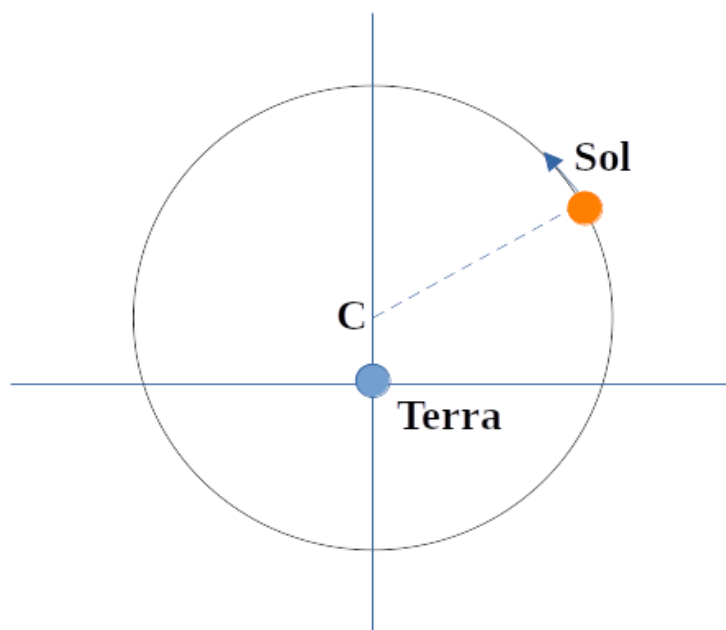
A obra de Ptolomeu condensada no livro *Almagest* era, de fato, majestosa, e mostrava que o sistema proposto de círculos movendo-se sobre outros círculos reproduziria, embora distante de uma simplicidade, os movimentos observados com razoável precisão. Para Ptolomeu, a Terra ocupava o centro do Universo, o centro geométrico de todos os círculos perfeitos. No entanto, as observações anuais do Sol realizadas ao longo das estações revelavam que o tempo gasto para o astro percorrer cada uma delas era notadamente diferente. Tal resultado apontava, por um lado, que um sistema simples baseado apenas em movimentos circulares e uniformes não seria mais útil, exigindo, por outro, a implementação de um novo conjunto apropriado de hipóteses geométricas.

Sabemos que existem diversas hipóteses difíceis de serem testadas, mas devemos ressaltar que uma teoria deve estar baseada em ideias simples, que deve concordar com os resultados das observações/experimentações e ter, ainda, as mesmas características dos fenômenos a serem explicados.

De acordo com Platão (RUTHERFORD F.J., 1970), a interpretação dada na época apontava que o movimento de um objeto celeste deveria ser angularmente uniforme e a uma distância constante do centro da Terra. No entanto, Ptolomeu, um desses astrônomos que acreditava na posição privilegiada que a Terra ocuparia no Universo, propôs, na perspectiva de apresentar novas hipóteses geométricas para explicar o comportamento anual do Sol ao longo das estações, que o centro, C, não estaria situado na Terra, mas em uma nova posição distinta, excêntrica (Figura 4).

⁵ Veja também o Capítulo 2 no link <http://www.astro.iag.usp.br/~leister/Fasc01.pdf> para maiores detalhes.

Figura 4 – Ilustração fora de escala do primerio artifício de Ptolomeu, o excêntrico C, um ponto afastado da Terra onde os movimentos observados seriam realmente uniformes.



Fonte: De autoria própria.

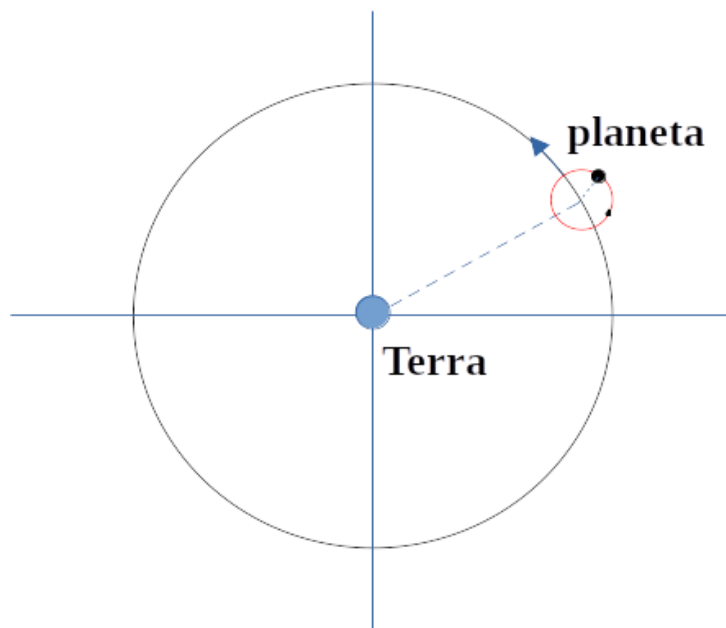
Essa foi a primeira hipótese e diz respeito ao novo centro geométrico de todos os círculos perfeitos, o que não conflitava, de certa forma, com o conceito geocêntrico já estabelecido. Na verdade, era coerente com as hipóteses geocêntrica e geoestática tratadas anteriormente, além dos movimentos perfeitos dos corpos celestes, interpretados como uma superposição de movimentos circulares de vários centros, raios e velocidades.

Com essa nova proposição, Ptolomeu mostraria que o movimento, uniforme em torno do centro C, não pareceria mais uniforme quando observado da Terra, de tal modo que uma órbita com esta nova característica, ou seja, excêntrica, explicaria a irregularidade observada na taxa de movimento aparente do Sol ao longo do ano.

O novo elemento incorporado melhorava a teoria geocêntrica ao contornar o problema observado no Sol. No entanto, embora também carregasse consigo pequenas variações na taxa anual do movimento dos planetas, ainda era insuficiente para explicar os movimentos retrógrados destes no céu, ou seja, o problema central continuava. Logo, uma nova hipótese era necessária: o epiciclo, um pequeno círculo descrito por um determinado astro em torno de um ponto imaginário que deslocava sobre um círculo de maior raio em torno da Terra, o deferente, Figura 5.

Então, qual seria a nova representação do sistema na visão de Ptolomeu, baseado nas ideias de Apolônio e Hiparco e, sobretudo, o movimento final esperado?

Figura 5 – Ilustração fora de escala do segundo artifício de Ptolomeu, o epiciclo, um círculo de pequeno raio (em vermelho) onde o planeta é suposto mover-se com velocidade uniforme.

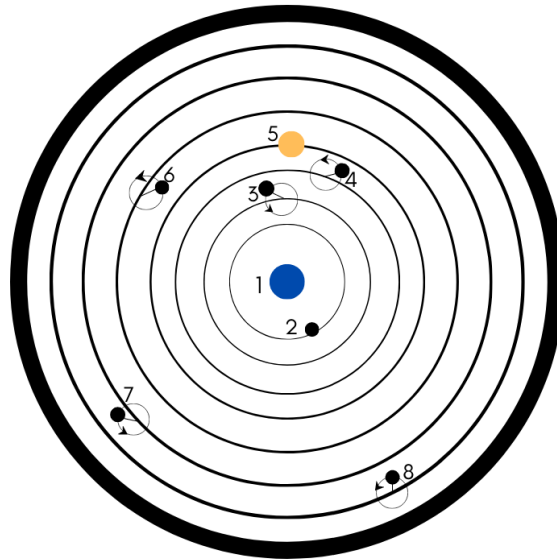


Fonte: De autoria própria.

A Figura 6 ilustra o resultado até então para o sistema de Ptolomeu, com uma característica importante: os movimentos planetários não estavam interligados, ou seja, eram independentes, onde cada planeta não determinava o movimento do seguinte. Um aspecto importante, como mencionado no início do Capítulo, residia no desconhecimento das distâncias destes objetos, de tal modo que Ptolomeu organiza o sistema guardando o mesmo ordenamento a partir da Terra, mas sem sobreposições dos epiciclos.

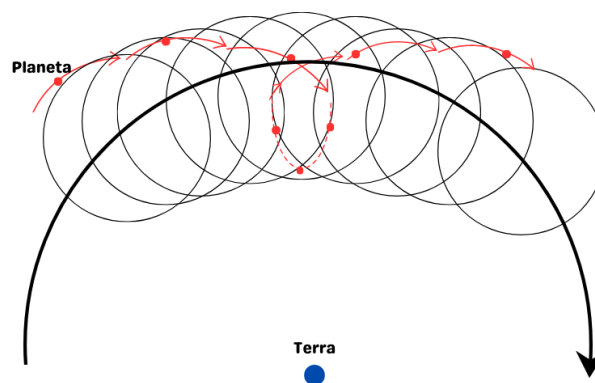
A configuração assim representada na Figura 6 guardava as hipóteses de Aristóteles, ou seja, da esfericidade do céu, da Terra e do movimento circular, além da posição privilegiada e imóvel da Terra no “centro” geométrico do Universo até então conhecido. No entanto, se o modelo de círculos movendo-se sobre outros círculos reproduzia os movimentos observados com razoável sucesso, como seriam as curvas que descreveriam as respectivas órbitas dos planetas? De acordo com a Figura 8, o sistema de epiciclos e deferentes ilustrado para um planeta, descreveria a órbita final em vermelho, ou seja, o movimento retrógrado. Sem dúvidas, podemos afirmar que o sistema proposto era um mecanismo muito engenhoso e que também explicava de forma simples o brilho dos planetas durante o movimento. Quando o planeta estivesse no lado interno do epiciclo, em relação à Terra, ou seja, executando o movimento retrógrado, ocuparia uma posição mais próxima (Figura 7) e, desta forma, mais brilhante no céu.

Figura 6 – Representação simplificada e fora de escala do movimento planetário na perspectiva do modelo cosmológico geocêntrico de Ptolomeu, baseado nas ideias de Apolônio e Hiparco. Os números guardam as mesmas posições da Figura 2: 1 (Terra), 2 (Lua), 3 (Mercúrio), 4 (Vênus), 5 (Sol), 6 (Marte), 7 (Júpiter) e 8 (Saturno). A última esfera continua representando a posição ocupada pelas estrelas.



Fonte: De autoria própria.

Figura 7 – Representação simplificada e fora de escala da trajetória orbital de um planeta no sistema de Ptolomeu (linha vermelha, com a devida laçada - movimento retrógrado). Os movimentos circulares dos quais esta órbita teria sido originada, também estão representados - círculos pretos.

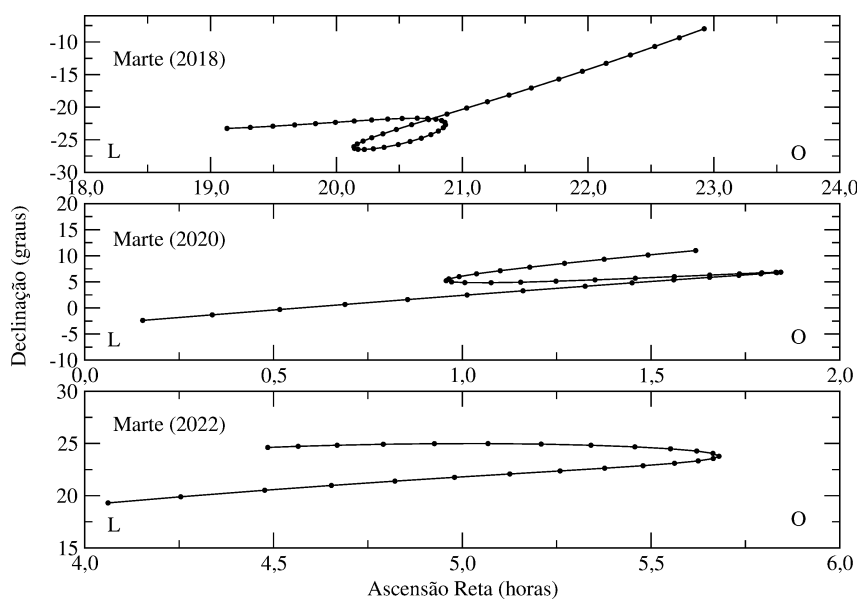


Fonte: De autoria própria.

Como descrito anteriormente, o modelo reproduzia os movimentos observados com razoável sucesso, no entanto, ajustes eram necessários para atingir a precisão final requerida. Vamos lembrar que uma teoria deve ser simples, ao ponto de concordar com os resultados observados e de guardar as mesmas características dos fenômenos a serem explicados.

As sucessivas observações indicavam que os movimentos retrógrados apresentam características distintas, ano após ano. Por exemplo, ilustrando para o caso do planeta Marte nos anos de 2018, 2020 e 2022, notamos que o movimento não possui a mesma dimensão angular, morfologia e nem a mesma duração (Figura 8). Então, como o modelo explicaria essas novas variações?

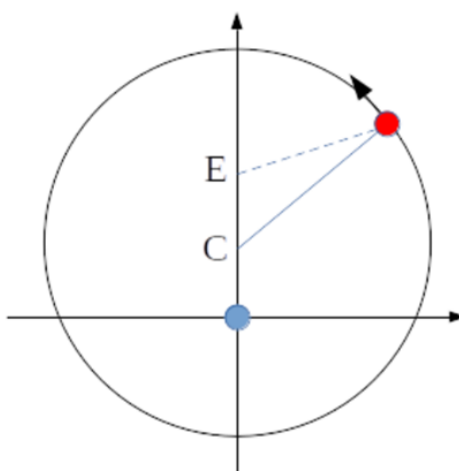
Figura 8 – Representação do movimento retrógrado de Marte em intervalos de 5 dias para os anos de 2018, 2020 e 2022. As curvas apresentam dimensões angulares diferentes, formas e duração. Fonte: The Astronomical Almanac (<https://aa.usno.navy.mil/publications/asa>).



Fonte: De autoria própria.

Ptolomeu continua adaptando o modelo as novas observações e recorre a um terceiro artifício geométrico, o equante, no qual modificava o primeiro artifício, o excêntrico (Figura 9). Com essa nova hipótese, Ptolomeu conseguia justificar as variações de velocidade dos planetas e, com as demais, explicar os movimentos na Esfera Celeste. Ao leitor interessado, sugerimos para maiores detalhes o Capítulo 2 “Organizando o Universo” no link <http://www.astro.iag.usp.br/~leister/Fasc01.pdf>.

Figura 9 – Representação do equanto (E), um ponto ao lado do centro do deferente (C) e oposto em relação à Terra (azul). Nesta configuração, o planeta (vermelho) move-se a uma taxa uniforme em torno do ponto descentrado, o Equanto.



Fonte: De autoria própria.

O sistema planetário de Ptolomeu foi proposto em torno de 150 d.C. e se consolidava a medida que sobrepujava várias questões fundamentais. Em resumo, o modelo geocêntrico conseguia:

(i) assegurar as hipóteses básicas de Platão, ou seja, as estrelas permaneciam eternas, divinas e imutáveis, movendo-se com velocidades uniformes em torno da Terra em trajetórias circulares perfeitas;

(ii) manter a Terra imóvel e na região central do Universo concebido, modelo geocêntrico;

(iii) manter os movimentos sem interferência de forças;

(iv) concordar com as ideias dos antigos gregos no que concerne aos conceitos de ‘lugar comum’ e ‘movimento natural’;

(v) explicar, para as estrelas fixas, o motivo da não observação do desvio anual esperado;

(vi) mostrar que o Universo até então concebível possuía tamanho finito, cujas distâncias eram medidas em raios da Terra;

(vii) explicar que os movimentos retrógrados dos planetas são descritos pela composição dos artifícios geométricos;

(viii) explicar que as variações dos movimentos observados são levadas em conta pelas equantes.

3.4 Copérnico: Uma Nova Percepção do Universo

Nicolau Copérnico (1473-1543) foi um astrônomo e matemático polonês que também percebeu, séculos depois, que o sistema ptolomaico era demasiado complexo. Mas, embora seguisse as conclusões de Heráclides, de que a Terra girava sobre o seu eixo, e de Aristarco, no qual a Terra movia-se em torno do Sol, apresentou, ao longo de quatro décadas de estudo, uma versão do sistema Heliocêntrico, que seria, em primeira aproximação, tão complicado quanto ao Geocêntrico, pois também envolvia vários outros excêntricos e epiciclos para justificar os movimentos. Em essência e de acordo com autores (HOLTON; RUTHERFORD; WATSON, 1981), a obra, *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, ou seja, ‘Sobre as Revoluções das Esferas Celestes’, era, em relação ao *Almagest*, um texto igualmente geométrico e de difícil leitura.

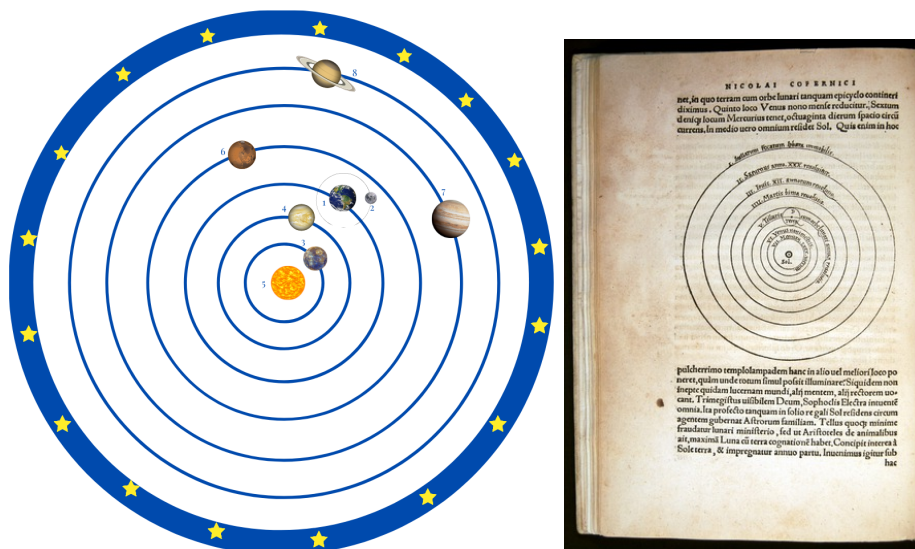
Mas, ao retirar a Terra do centro do Universo, a obra de Copérnico era, de fato, diferente do modelo de Ptolomeu. Todas as esferas deveriam revolucionar em torno do Sol, destacando neste a posição central e estacionária, de tal modo que a distância Terra-Sol, quando comparada com a distância às estrelas era, agora, muito pequena.

O céu, assim como os demais corpos conhecidos, realizam movimentos aparentes em torno da Terra, que realiza uma rotação completa diária em torno do seus pólos e uma revolução anual em torno do Sol. Portanto, o movimento retrógrado observado dos planetas não é uma característica própria peculiar, mas ocasionada pelo movimento da Terra em torno do Sol. Do exposto, a Figura 10 ilustra o novo arranjo para o sistema.

Apesar das conclusões apontarem para um quadro mais representativo do Universo, a concepção geocêntrica ainda era forte no tempo de Copérnico (séculos XV e XVI), sobretudo, ancorada na convicção humana íntima de que a Terra ocupava de forma majestosa o centro das coisas. Afinal, se a Terra se move, qual é a real causa? Por que não sentimos o movimento? Por que as coisas tendem a voltar para a Terra, se ela não ocupa o centro do Universo?

Copérnico, prevendo provavelmente críticas ao seu trabalho, foi levado a retardar a publicação do *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, de modo que viu a conclusão da sua obra, já bastante debilitado, em seu leito de morte. De fato, a obra foi rotulada como falsa e oposta as ‘Sagradas Escrituras’. O monge germano-agostiniano, Martinho Lutero (1483-1546), professor de teologia que tornaria uma das figuras centrais da Reforma Protestante, chamou Copérnico de louco e herético. Mas, apesar do ritmo ondulatório (vai e volta), a ciência avança e as discussões sobre os dois sistemas de mundo e de que a Terra poderia, de fato, estar em movimento, começariam lentamente a sua longa jornada histórica final de aceitação, com as contribuições fundamentais de Johannes Kepler (1571-1630) por meio das precisas observações de Tycho Brahe (1546-1601), Galileu Galilei (1564-1642) e Isaac Newton (1643-1727).

Figura 10 – Imagem Esquerda: Representação simbólica e fora de escala do movimento planetário na perspectiva do novo modelo cosmológico Heliocêntrico de Copérnico. Os números nas órbitas guardam as mesmas posições dos astros da Figura 4. Observe, portanto, a permuta feita em as posições 1 (Terra), 2 (Lua) e Sol (5). A última esfera continua representando a posição ocupada pelas estrelas. Imagem Direita: Cópia da página da obra, *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, com a ilustração do modelo Heliocêntrico de Copérnico.



Fonte: Imagem Esquerda: De autoria própria. Imagem Direita: History of Science Collections, University of Oklahoma Libraries. Consultado em 15 de Abril de 2023.

Tabela 1 – Valores obtidos por Copérnico (Teoria) para os períodos orbitais dos planetas comparados com aqueles adotados atualmente.

Planeta	Copérnico	Valores Atuais (Anos Julianos)
Mercúrio	0,24	0,24084445
Vênus	0,61	0,61518257
Terra	1,00	0,99997862
Marte	1,88	1,88071105
Júpiter	11,8	11,85652502
Saturno	29,5	29,42351935

Fonte: Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac, 2023.

O sucesso da teoria Heliocêntrica pode ser avaliada em dois resultados que não poderiam ser obtidos com o modelo Geocêntrico. O primeiro, por conta da própria definição do sistema, permitia calcular o tempo que cada planeta levava para completar uma volta em torno do Sol. O segundo, as próprias dimensões das órbitas em função da órbita da Terra. Esses dois resultados permitiam, pela primeira vez na História da Astronomia, estimar a dimensão do Universo ora conhecido. Observações acumuladas durante vários séculos permitiram Copérnico calcular os períodos e os raios das orbitas para os planetas conhecidos com excelente precisão, Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 2 – Valores obtidos por Copérnico (Teoria) para os raios das órbitas dos planetas (em Unidades Astronômicas - UA) comparados com aqueles adotados atualmente.

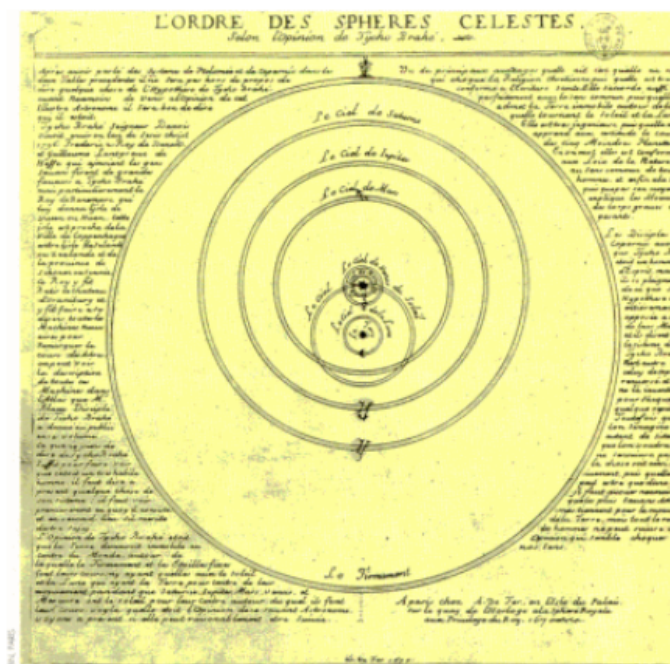
Planeta	Copérnico	Valores Atuais
Mercúrio	0,38	0,38709893
Vênus	0,72	0,72333199
Terra	1,00	1,00000011
Marte	1,52	1,52366231
Júpiter	5,20	5,20336301
Saturno	9,20	9,53707032

Fonte: Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac, 2023.

3.5 O Sistema de Tycho Brahe

Tycho Brahe (1546-1601), um exímio observador dinarmaquês, não havia aceitado totalmente, a despeito da simplicidade, o sistema Heliocêntrico de Copérnico. Para tal, propôs um sistema alternativo, no qual apenas o Sol e a Lua giravam em torno da Terra, enquanto os demais planetas giravam em torno do Sol (Figura 11). Mas, aonde estaria a argumentação científica contrária de Tycho Brahe para não adotar o novo sistema?

Figura 11 – Reprodução do sistema Geocêntrico (híbrido) proposto por Tycho Brahe. Por um lado, o modelo preservava a proposta geocêntrica grega, Aristóteles, o que lhe permitiria explicar o motivo pelo qual os objetos caem de volta para a Terra. Por outro, carregava os elementos necessários para explicar os movimentos retrógrados no modelo Heliocêntrico de Copérnico.



Fonte: Imagem de Domínio Público.

Uma vez posto em prática o sistema Heliocêntrico de Copérnico com os respectivos

movimentos da Terra, sobretudo o de revolução em torno do Sol, então, para Tycho e os demais astrônomos, seria possível ver as estrelas mudarem suas respectivas posições uma vez por ano, uma argumentação bastante válida, mesmo sendo fixas na Esfera Celeste.

Para Tycho Brahe, nada poderia escapar de sua grande habilidade como um observador celestial. Mas, como tal mudança aparente na posição, a paralaxe, ainda não tinha sido observada, podemos apresentar, pelos menos, duas possibilidades associadas: (i) de que a Terra estaria, de fato, no centro do Universo conhecido, retornando assim ao geocentrismo, ou (ii) de que as estrelas fixas estavam situadas, de fato, a grandes distâncias, impossibilitando a percepção da paralaxe. Então, como Tycho Brahe resolveu, particularmente, essa situação?

A Astronomia é, por essência, uma ciência observacional e o surgimento de um evento celeste forneceria elementos suficientes para Tycho Brahe tirar as devidas conclusões e rejeitar o movimento da Terra, inclinando-se, assim, em favor de um sistema com a Terra no centro, porém, híbrido, a despeito da simplicidade do modelo Copernicano.

Tycho Brahe ainda tinha outro motivo para rejeitar o movimento da Terra. De acordo com (MOTZ L., 1995), ele era devoto e não conseguia conciliar o movimento da Terra com certas passagens nas Escrituras.

Mas, em 1572, uma estrela brilhante foi observada na constelação de Cassiopéia (Hemisfério Celestial Norte). Na ocasião, uma Nova, do latim *novae*, uma estrela que se torna bastante luminosa em um intervalo de tempo muito breve, da ordem de algumas horas a um dia, retomando, após vários meses e de forma bem lenta, ao seu brilho inicial. Hoje, sabemos que uma supernova é uma estrela em explosão e não uma estrela nova. Em particular, esta supernova ficou visível no céu por cerca de 18 meses antes de desaparecer.

Ao realizar observações sistemáticas deste novo objeto celeste, Tycho Brahe concluiu que, se não fosse uma estrela fixa, mas um outro fenômeno local na atmosfera já conhecido, como um cometa ou um meteoro, este objeto deveria apresentar, necessariamente, uma paralaxe, de acordo com a interpretação Aristotélica, ou seja, de que qualquer alteração observada implicaria em mudanças nas coordenadas do objeto estudado. Lembramos que o céu é imutável na visão Aristotélica.

De acordo com (PANNEKOEK, 1960), o surgimento desta estrela nova estrela colocaria em prova a teoria Aristotélica baseada na imutabilidade celeste e sustentada no modelo Geocêntrico de Ptolomeu. Ao compilar suas observações e tirar as devidas conclusões, Tycho Brahe publica no ano seguinte, em 1573, a obra *De nova stella* (Sobre a nova estrela), no qual afirma que a nova estrela observada em Cassiopéia não apresentava nenhuma mudança de posição em relação as outras estrelas, ou seja, sem nenhuma paralaxe observável. Portanto, era de fato uma estrela e não um objeto local (cometa ou meteoro), e acaba concluindo que a Terra estava, de fato, imóvel e no centro do Universo.

Portanto, Copérnico estava errado em propor um modelo cosmológico Heliocêntrico.

Nos ensinamentos de Aristóteles, os cometas eram fenômenos atmosféricos associados aos gases que são queimados na atmosfera da Terra (COHEN S.M., 2011). Tycho Brahe também compartilhava com esta ideia, até realizar observações cuidadosas para um cometa em 1577. Ao medir a paralaxe do cometa, o mesmo foi capaz de provar que o cometa estava mais longe do que a Lua, o que contradizia os ensinamentos de Aristóteles. Então, os cometas não eram fenômenos da atmosfera e apresentavam uma mudança óbvia na Esfera Celeste que se supunha imutável. Ainda, era muito difícil atribuir um movimento circular uniforme a um cometa.

Na História da Astronomia, veremos que, apesar dos esforços realizados, nenhum deles, Tycho Brahe, Johannes Kepler, Galileu Galileu ou mesmo Isaac Newton, conseguiria resolver o problema da paralaxe. A primeira medida foi feita apenas no século XVIII pelo matemático, físico e astrônomo alemão Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846).

A partir das observações e das conclusões obtidas, Tycho Brahe propõe um sistema geocêntrico alternativo, em que o Sol girava ao redor da Terra e os planetas conhecidos em torno do Sol. Ainda, para testar os modelos propostos até então, Geocêntrico, Heliocêntrico e o seu ‘Híbrido’, inicia a construção de um catálogo com as posições relativamente precisas das estrelas fixas, cujo o propósito era determinar as posições aparentes dos planetas conhecidos, como vistos da Terra, durante um longo intervalo de tempo. Inicialmente, um par de varetas articuladas, onde uma apontava para uma estrela fixa, enquanto a outra para um planeta. A medida angular era então determinada. Mais tarde, sextantes e compassos foram construídos, cujas as medidas apresentavam uma excelente precisão para a época e a instrumentação empregada: em um período de 20 anos, as posições angulares dos planetas não apresentavam erros superiores à fração $1/60$ de grau (LOVE, 2015), mais precisas, portanto, que as observações que Copérnico dispunha na época⁶. A título de comparação, um sexagésimo de grau representa a cabeça de um alfinete colocado a cerca de cinco metros de uma pessoa.

As observações foram realizadas a partir de 1576 no observatório situado na ilha báltica de Hven, em Oresund, entre a Dinamarca e a Suécia. Foi construído pelo Rei Frederico II (1534-1588) da Dinamarca e com os devidos fundos para a sua manutenção. Esse fato, provavelmente, representa um dos primeiros financiamentos registrados para a

⁶ Os resultados da missão da Agência Espacial Europeia (ESA) HIPPARCOS, ou seja, HIGH Precision PARallax COLlecting Satellite, uma sigla que faz alusão ao astrônomo grego Hipparcos, produziu dois catálogos astrométricos de suma importância: Hipparcos, altamente preciso para mais de 118000 estrelas (e sistemas estelares) em todo o céu, e o Tycho que, sem invocar nenhum acrônimo, foi simplesmente nomeado ao astrônomo dinamarquês Tycho Brahe pelo feito observacional em termos de precisão obtida em sua época. O Catálogo Tycho publicado em 1997, possuía mais de um milhão de estrelas e foi substituído pelo Catálogo Tycho-2 no ano de 2000, no qual estendeu o Catálogo Hipparcos para mais de 2,5 milhões de estrelas. É menos preciso que o Hipparcos e não contém paralaxes, mas fornece posições e movimentos próprios, bem como as cores das estrelas.

pesquisa no campo da Astronomia.

De acordo com (VERBUNT, 2010), Tycho completou o catálogo em 1598, incluindo as posições e magnitudes de 1004 estrelas fixas. Uma versão mais curta com 777 estrelas foi editada e impressa em 1602. Mais tarde, Johannes Kepler editou o catálogo completo com as 1004 estrelas, no qual foi impresso em 1627.

Figura 12 – Ilustração do ‘Quadrante Mural’ empregado por Tycho Brahe, formado por uma liga metálica em arco com raio da ordem de 2,0 m. O instrumento era apoiado em uma estrutura sólida e estável, equipado com marcações angulares e visores moveis que permitiria observar as estrelas com suficiente precisão.



Fonte: Imagem de Domínio Público.

Para continuar o seu grandioso projeto observacional, Tycho Brahe necessitava de novos instrumentos de medição e propôs a construção de quadrantes, sextantes e compassos (Figura 12), o que lhe permitiria catalogar as posições de um milhar de estrelas com uma precisão fantástica. Como discutido em (VERBUNT, 2010), as magnitudes obtidas estão muito bem correlacionadas com os valores modernos, apresentando distribuições de erro com dispersões da ordem de 2 minutos de grau. No caso das posições angulares dos planetas, os erros não ultrapassariam $1/60$ do grau em um intervalo de 20 anos.

Tycho Brahe, ao analisar as observações, não verificaria qualquer evidência da paralaxe estelar ou qualquer outro movimento anual que indicasse que a Terra se deslocasse

ao redor do Sol. No entanto, chegaria facilmente à conclusão de que as suas posições planetárias eram muito mais precisas do que aquelas obtidas por Copérnico. Para isso, determinou e corrigiu da refração cada observação realizada (VERBUNT, 2010).

4 Kepler e a Compreensão do Movimento Planetário

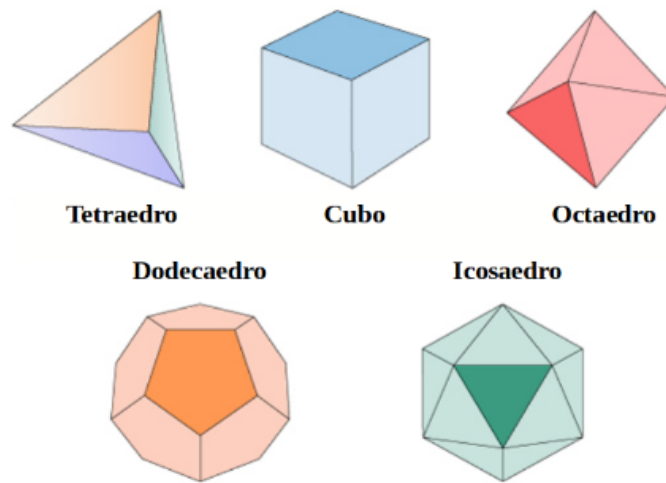
O correto entendimento do movimento irregular e retrógrado dos planetas era a chave para a definitiva solução do problema que se arrastava desde a época de Platão, atravessando uma sucessão de astrônomos e desaguando na Revolução Científica (iniciada no século XVI e prolongada até o século XVIII) com o matemático alemão e defensor do Sistema Heliocêntrico de Copérnico, Johannes Kepler (1571-1630).

Kepler, ao contrário de Tycho Brahe, não era um exímio experimentador (no sentido da observação astronômica), mas reunia os elementos necessários da Astronomia, Geometria e Matemática para investigar a natureza a partir de um outro ângulo, atributo este que era de ‘pouco interesse’ para Tycho Brahe. No entanto, Kepler ainda guardava uma forte visão de uma ordem e perfeição da natureza. Embora imerso em uma Revolução Científica iniciada na era Renascentista, onde os conhecimentos eram considerados corretos depois de confirmados pela experiência e razão, ou seja, por meio de um método experimental ou científico, Kepler acreditava que padrões de ordem geométrica e de relações numéricas constituíam as chaves do “espírito de Deus”.

As suas primeiras perguntas, nada fáceis de serem respondidas, envolviam os espaçamentos das órbitas planetárias calculadas então por Copérnico e presentes no *De Revolutionibus Orbium Coelestium* de 1543. Em síntese, perguntava-se: Por que haviam, precisamente, apenas seis planetas no Sistema Solar? Por que razão estariam dispostos naqueles padrões de espaçamentos orbitais? A resposta, a princípio, estaria na Geometria e Kepler buscava relacionar os seis planetas com os cinco sólidos regulares gregos então conhecidos, ou seja, os poliedros cujas faces possuem lados e ângulos iguais, Figura 13.

A sequência natural de seus estudos levaria Kepler a proposição em 1597 de um primeiro modelo baseado no Heliocentrismo de Copérnico, *Mysterium Cosmographicum* (Mistério Cosmográfico), no qual envolveria o uso dos cinco sólidos regulares e o conceito inicial das esferas concêntricas. Mais tarde, no *Harmonices Mundi*, Harmonia dos Mundos, (KEPLER, 2017), ilustrado na Figura 14, o modelo previa seis esferas planetárias que deveriam harmonizar com os cinco sólidos perfeitos. Dessa forma, Kepler buscava uma unidade entre Matemática, Geometria e as observações astronômicas, que fora obtida, de certa forma com sucesso, embora puramente acidental. Não existe nenhuma relação entre os sólidos perfeitos e as órbitas dos planetas, como sabemos hoje em dia, mas a conexão ora estabelecida lhe projetaria aos olhos dos astrônomos Galileu Galilei e Tycho Brahe.

Figura 13 – Os sólidos perfeitos. Com faces, aqueles que são triângulos equiláteros: Tetraedro (4), Octaedro (8) e o Icosaedro (20). O Cubo apresenta 6 faces quadradas e o Dodecaedro 12 faces pentagonais.



Fonte: De autoria própria.

4.1 Astronomia Nova

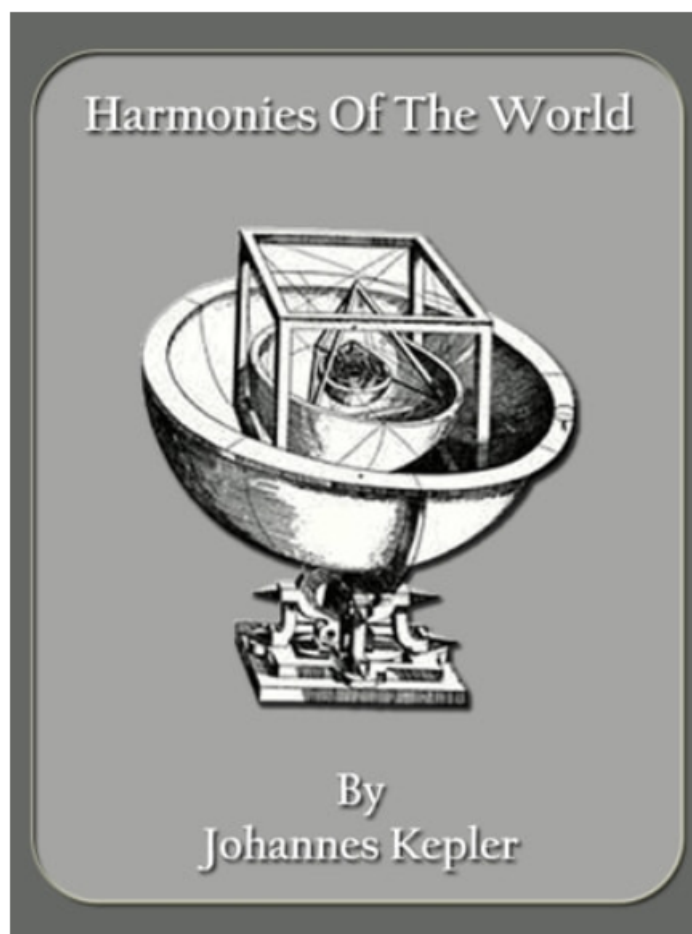
O modelo de Kepler, embora engenhoso, não conseguia combinar de forma perfeita os sólidos platônicos com as esferas (órbitas planetárias) de modo a reproduzirem as verdadeiras distâncias dos seis planetas conhecidos. Em seus pensamentos, questionava se o problema estaria nas observações, ou seja, imprecisas para ratificar o modelo proposto.

Em 1594, Kepler foi nomeado professor de Matemática no seminário protestante em Graz (na província austríaca da Estíria). Foi também matemático distrital e responsável por elaborar os Calendários. Mas, em 1598, quando todos os protestantes foram forçados a se converter ao catolicismo ou deixar a província como exilados, como parte das medidas da Contrarreforma (ou Reforma Católica, movimento criado pela Igreja Católica a partir de 1545), Kepler foi forçado a sair e, por causa de seu talento como matemático, foi convidado por Tycho Brahe para trabalhar em seu observatório astronômico, Uraniborg, situado na ilha de Ven, em Oresund, entre a Dinamarca e a Suécia. Para Kepler, uma oportunidade de ouro para avançar os seus estudos, pois, ao se tornar seu assistente, teria acesso as observações e passaria a calcular novas órbitas planetárias a partir de dados muito mais precisos.

Embora tivesse as melhores observações, Tycho Brahe não foi capaz de transformar as mesmas em uma teoria do Sistema Solar coerente, como visto anteriormente. Portanto, enquanto observador, precisava das habilidades teóricas de Kepler, um típico exemplo que ilustra na História da Ciência o indissociável casamento entre teoria e experimento quando visto aos olhos da ciência moderna.

Ao mudar-se para Praga em 1600, trabalhou como assistente de Tycho Brahe até a

Figura 14 – Modelo idealizado por Kepler para explicar as distâncias relativas dos planetas a partir do sistema Heliocêntrico de Copérnico. As esferas eram suficientemente espessas para incluir o epiciclo proposto por Copérnico.



Fonte: Capa do ebook referenciado em (KEPLER, 2017)

morte deste último em 1601. Então, ao ser nomeado sucessor de Tycho como matemático imperial, ocupou o cargo e realizou as devidas funções até 1612, época da morte do imperador Rodolfo II, do Sacro Império Romano-Germânico.

De posse dos dados observacionais, Kepler iniciou sua investigação com o planeta Marte, tentando ajustar às observações apenas ao Excêntrico e ao Equanto do planeta. Uma vez baseado no modelo Heliocêntrico, não necessitava mais dos epiciclos nas análises.

Ao longo da primeira década do Séc. XVII, os estudos intermináveis e as conclusões por vezes animadoras, levariam Kepler a pensar em outras questões cruciais. Haveria alguma causa física, fora do contexto astronômico, associada ao movimento dos planetas no céu?

A pergunta feita acima tem a sua origem na Física Aristotélica, onde era impossível a existência de um movimento em que não houvesse a atuação contínua de uma força (ANGIONI, 2010). De acordo com Aristóteles, os movimentos no Universo são classificados

em dois grupos: os ‘naturais’, ou seja, quando o corpo busca o seu lugar natural, hipótese esta empregada para explicar, por exemplo, a queda dos corpos, e os ‘violentos’, quando os corpos são afastados de seu local de repouso mediante a aplicação de uma força externa. Portanto, Kepler acreditava na existência de uma força para mover os planetas ao longo de seus círculos perfeitos, e não apenas para manter os mesmos nestas órbitas. Enquanto outros astrônomos ainda seguiam o antigo preceito de que o estudo dos planetas era um problema apenas de Cinemática, Kepler adotava uma abordagem abertamente dinâmica, introduzindo a ciência Física nos céus.

Em Praga, Kepler publicou vários livros importantes. Em 1604 escreveu *Astronomia pars Optica* (A Parte Óptica da Astronomia), onde abordou o fenômeno da refração atmosférica, tratou das propriedades das lentes e deu a explicação moderna para o funcionamento do olho humano. Dois anos depois, publicaria o *De Stella Nova* (Sobre a Nova Estrela). Não é creditado a Kepler o primeiro observador da brilhante estrela no céu, mas sim como o astrônomo que realizaria os principais estudos científicos da hoje conhecida supernova SN 1604, uma etapa evolutiva na fase final de vida de uma estrela massiva, ou ainda de uma estrela anã branca que inicia um processo de fusão nuclear descontrolado.

Em 1609, publica a obra *Astronomia Nova* (Nova Astronomia), no qual apresentava os resultados sobre o planeta Marte. Mas, na verdade, Kepler passou vários anos tentando ajustar as vastas observações de Tycho Brahe no modelo pautado em uma órbita circular com um específico Excêntrico e Equanto. Em suas longas jornadas de trabalho, perguntava-se, constantemente, que tipo de trajetória o planeta Marte realizou ao longo das duas décadas de observações?

Em 1610, Kepler ouviu e leu (portanto, posterior a obra *Astronomia Nova*) sobre as descobertas de Galileu Galilei com a luneta. Então, rapidamente redigiu uma longa carta de apoio que publicou como *Dissertatio cum Nuncio Sidereo* (Conversação com o Mensageiro Sideral), e quando, mais tarde naquele ano, obteve o uso de um telescópio adequado, publicou suas observações dos satélites de Júpiter sob o título *Narratio de Observatis Quatuor Jovis Satellitibus* (Narração sobre os Quatro Satélites de Júpiter observados). Esses folhetos foram um enorme apoio para Galileu, cujas descobertas foram postas em dúvida ou negadas por muitos. Ambos os tratados de Kepler foram rapidamente reimpressos em Florença. Mais tarde, Kepler ainda forneceria o início de uma teoria do telescópio em seu *Dioptrice*, ‘Dióptrica’, publicado em 1611.

Das inúmeras tentativas realizadas para obter possíveis órbitas que responderiam o problema, Kepler iniciou com um sistema de círculos que se moviam sobre outros círculos dentro de uma perspectiva Copernicana, ou seja, com as observações feitas da Terra em relação a um Sol em repouso central no qual o próprio planeta Marte também percorria uma órbita em relação às estrelas fixas.

Então, ao se aproximar de um possível sucesso usando órbitas do tipo ‘círculo

excêntrico’, percebeu, por um lado, que um conjunto de observações ajustavam-se razoavelmente bem com uma precisão da ordem 2 minutos de grau; mas, por outro, haviam algumas poucas observações que apontavam desvios da ordem de 8 minutos de grau nas latitudes e longitudes ao longo do plano da Eclíptica. O quanto representariam essas diferenças angulares para a validação do modelo?

Sabemos que em 1 grau angular existem 60 minutos de grau. Do horizonte ao zênite do observador existem 90 graus. Comparando com a Lua na fase Cheia, cujo diâmetro aparente vale cerca de 0,5 grau (~ 30 minutos de grau), teríamos da ordem de um quarto do seu valor para os desvios de 8 minutos de grau. Embora representem valores ‘relativamente pequenos’ e, talvez, associados à erros observacionais (que poderiam ser minorados com o auxílio de uma luneta, mas, como sabemos, tal instrumento óptico fora introduzido apenas em 1609 na Astronomia por Galileu Galilei), Kepler não desprezou tais dados, pois conhecia o rigor observacional empregado por Tycho Brahe.

A decisão acertada de não desprezar as poucas observações levaria, nas próprias palavras de Kepler, “para uma estrada que apontava uma reformulação total da Astronomia”. O que ele queria dizer com isso?

Anteriormente, Kepler havia feito uma descoberta crucial, não percebida pelos seus antecessores, Ptolomeu ou Copérnico. As órbitas da Terra, assim como aquelas dos demais planetas, situavam-se em planos que passavam pelo Sol. Então, diferente das justificativas anteriores apresentadas para explicar o bailar dos planetas ao longo da Eclíptica (movimentos para o Norte e o Sul em latitude, e de Leste e Oeste em longitude), Kepler descobriu que estes eram consequências diretas das inclinações orbitais dos planetas em relação à órbita da Terra.

A soma de várias conclusões que Kepler chegaria, como a percepção de que as observações de Tycho Brahe eram suficientemente precisas para abandonar definitivamente a órbita circular, o cálculo das distâncias que forneceria uma ideia objetiva de que a órbita era elíptica, adequada para as observações de Marte e, por consequência, para a Terra, com o Sol ocupando um dos focos, permitiram o estabelecimento de duas primeiras leis com abordagens distintas. Enquanto os demais astrônomos seguiam o antigo preceito de que o estudo dos planetas era um problema apenas de Cinemática, Kepler adotava também uma abordagem Dinâmica, introduzindo assim um conceito mais amplo da Física para investigar o céu, ou seja, o que passamos a considerar hoje como Mecânica Celeste a partir das reveladoras observações de Galileu Galilei e do colossal trabalho teórico realizado posteriormente por Isaac Newton (1643-1727).

Como descrito na Table 3 a seguir, a órbita de Marte é a mais excêntrica de todas aquelas estudadas por Kepler (excetuando Urano, Netuno e Plutão - este último, um

Tabela 3 – Valores para as excentricidades das órbitas dos oito planetas e do planeta anão Plutão do Sistema Solar.

Planeta	Excentricidade	Notas
Mercúrio	0,2056	Maior excentricidade; Poucas observações
Vênus	0,0068	Órbita quase circular
Terra	0,0167	Pequena excentricidade
Marte	0,0934	Grande excentricidade
Júpiter	0,0484	Movimento orbital lento
Saturno	0,0541	Movimento orbital lento
Urano	0,0472	Descoberto em 1781
Netuno	0,0086	Descoberto em 1846
Plutão	0,2488	Descoberto em 1930

Fonte: The Astronomical Almanac 2023.

planeta anão¹). Logo, podemos supor que se a escolha tivesse sido feita para qualquer outro planeta, ele certamente teria dificuldades para concluir que a forma da órbita era elíptica. Mesmo para a órbita de Marte, podemos notar que é muito pequena a diferença entre a órbita elíptica e uma circunferência descentrada. De fato, como o próprio Kepler escreveria mais tarde (LOVE, 2015), “apenas Marte nos permite penetrar nos segredos da Astronomia que, de outro modo, permaneceriam eternamente ocultos”.

4.2 1609: As Duas Leis de Kepler

Ao abandonar a antiga crença pautada no movimento uniforme, Kepler passou a considerar possíveis variações na velocidade do planeta Marte quando ele se movia em torno do Sol, ancorada na percepção de que era necessário uma força para deslocar o planeta em suas órbitas.

No estágio de imersão que o mesmo se encontrava, Kepler verificou que em certos pontos da órbita, Marte parecia viajar mais depressa do que em outros. Esse resultado lhe dizia que o Sol regulava a velocidade orbital do planeta. Assim, quando Marte encontrava-se mais próximo do Sol, ou seja, no periélio, a velocidade era maior. Por outro lado, na maior distância do Sol, afélio, a velocidade era mínima. Então, ao representar uma linha imaginária ligando o Sol ao planeta, concluiu que estando o referencial fixo no Sol, a reta que une o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.

Após a descoberta desta propriedade, na qual ser tornaria uma lei, Kepler abandonou totalmente suas tentativas de construir os movimentos planetários a partir de combinações de movimentos circulares uniformes e começou a projetar outras possibilidades de órbitas. Ao findar de uma busca incessante por uma curva que ajustasse os dados observacionais, verificou que cada planeta descrevia movimentos em uma órbita muito simples,

¹ Veja o link para mais detalhes: <https://www.iau.org/public/themes/pluto/brazilian-portuguese/>

do tipo elíptica, estando o Sol em um dos focos. Esta foi, certamente, a descoberta mais importante para Kepler, pois mostrava que ele havia finalmente encontrado, depois de quase 2 mil anos, uma curva que descrevia o movimento dos planetas, acordando, assim, um modelo matemático com as observações de Tycho Brahe.

Torna-se aqui importante pontuar o contexto científico do trabalho de Kepler, pois, ele foi muito além da observação e da descrição matemática². Kepler procurou explicar o movimento celeste, o antigo problema grego, pela ação de forças físicas. No modelo proposto, os planetas não se moviam por influência divina, sobrenatural ou por meio de um movimento circular natural causado pelas formas esféricas, perfeitas, que possuíam. Na verdade, Kepler procurou leis físicas, partindo do princípio de que uma grande variedade de fenômenos observados e que descrevem o Universo, são compreendidos se forem descritos por meio de leis simples e expressas de forma matemática. Este é um verdadeiro exemplo de pensamento científico, onde a nova ordem cósmica foi estabelecida com os trabalhos de Isaac Newton, baseados nas observações de Galileu Galilei e nos resultados então estabelecidos por Kepler.

Até o presente momento, podemos enunciar, considerando um referencial fixo no Sol, que o movimento dos planetas segue duas primeiras leis fundamentais, publicadas em 1609 no *Astronomia Nova. De Motibus Stellae Martis*, Figura 15:

1ª Lei: Órbitas Elípticas: Em um referencial fixo no Sol, as órbitas dos planetas são elipses e o Sol ocupa um dos focos.

2ª Lei: Áreas: Em um referencial fixo no Sol, a reta que une o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.

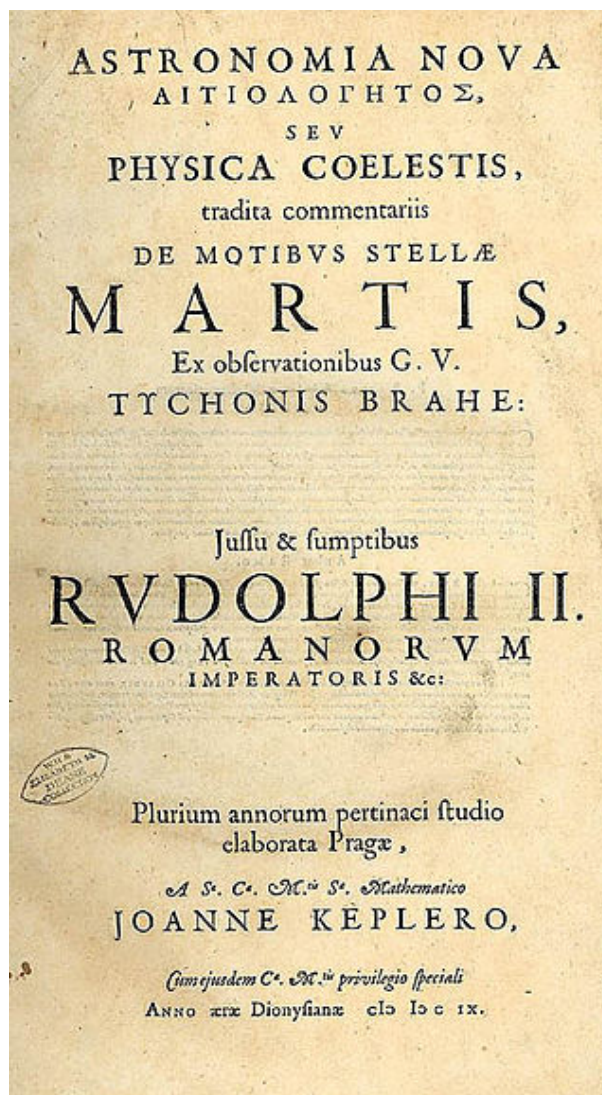
É importante ressaltar que as duas Leis de Kepler descritas acima não se aplicam apenas para um planeta ao redor do Sol, mas para qualquer corpo que descreve uma órbita ao redor de um outro corpo, com a devida descrição do referencial e da interação fundamental associada (gravitacional). Os satélites naturais dos planetas do Sistema Solar, a exemplo do sistema Terra-Lua ou de Júpiter e os quatro galileanos (Europa, Ganimedes, Io e Calisto), ilustram bem a afirmação tratada acima.

4.3 1619: Harmonices Mundi

As excentricidades calculadas por Kepler para cada planeta revelam valores muito pequenos, indicando que as órbitas são quase circunferências, de acordo com a Tabela 3. Nesta, notamos que as órbitas mais achatadas são as do planeta Mercúrio e Marte. As

² Veja por exemplo o Capítulo 2 do link: <http://www.astro.iag.usp.br/~leister/Fasc01.pdf>

Figura 15 – Capa do livro ‘Astronomia Nova. De Motibus Stellae Martis’, de Johannes Kepler, publicado em 1609.



Fonte: Imagem de Domínio Público.

órbitas da Terra, de Vênus e de Netuno são muito próximas de circunferências. Podemos dizer o mesmo das órbitas de Júpiter, Saturno e Urano. Ainda, como as excentricidades são pequenas, implicando órbitas aproximadamente circulares, a variação relativa do módulo da velocidade linear dos planetas é igualmente pequena.

Em 1610, Kepler tomou conhecimento sobre as descobertas que o italiano Galileu Galilei havia feito em 1609, ano de publicação do livro *Astronomia Nova*, com um recém instrumento construído com lentes devidamente polidas (no qual passamos a chamar de luneta), onde a principal propriedade era a de aumentar os objetos situados a grandes distâncias, portanto, de grande interesse para a Astronomia.

O livro que reunia toda a obra revolucionária até então realizada por Galileu Galilei era o *Sidereus Nuncius*, ‘O Mensageiro das Estrelas’, de suma importância quer

seja para a teoria Heliocêntrica ou as observações previamente realizadas a olho nu. Para a História da Ciência, esta contribuição representa um dos textos mais importantes e com um profundo impacto no mundo científico europeu do Século XVII (SILVA, 2013).

A obra incluía todas as descobertas observacionais realizadas por Galileu Galilei e foi de tamanha revelação para Kepler que o mesmo escreveu um opúsculo, um livreto científico de algumas poucas páginas denominado *Dissertatio cum Nuncio Sidereo*, ‘Conversação com o Mensageiro Sideral’.

Percebendo o valor científico agregado ao pequeno instrumento óptico, Kepler toma uma iniciativa e aprofunda os seus estudos teóricos e experimentais, o que lhe permite em 1611 publicar o livro *Dioptrice*, ‘Dióptrica’, no qual estabelece as bases teóricas a respeito das lentes, de como produzir uma luneta galileana e também da fabricação de um instrumento mais aprimorado. Então, alicerçado de tais informações, inicia as suas próprias observações dos satélites de Júpiter e publica os resultados sob o título *Narratio de Observatis Quatuor Jovis Satellitibus*, ‘Uma Narrativa dos Quatro Satélites Observados de Júpiter’, de suma importância para Galileu, pois as suas descobertas iniciais foram postas em dúvida ou negadas por muitos.

Para Kepler, todos os resultados pré e pós-Galileu mostravam que ainda faltava estabelecer uma conexão entre os movimentos dos diferentes planetas investigados, ou seja, uma relação entre as órbitas elípticas e as respectivas velocidades associadas.

Após muitas tentativas, obteve, finalmente, 10 anos depois, uma relação precisa entre o tamanho da órbita de um planeta e o seu período, ou seja, o tempo de uma revolução em torno do Sol. Então, em 1619, estabelece que para todos os planetas, a razão entre o cubo do raio médio da órbita e quadrado do período é a mesma, passando a configurar a última das três leis de Kepler, enunciada da forma:

3ª Lei: Harmônica: Em um referencial fixo no Sol, o quadrado do período de revolução de um planeta (T^2) ao redor do Sol é proporcional ao cubo do semi-eixo maior médio da elipse (R_{med}^3) que representa a órbita do planeta.

A razão de proporcionalidade K , uma constante,

$$K = \frac{R_{med}^3}{T^2} \quad (4.1)$$

é a mesma para todos os planetas, como pode ser observado na Tabela 4. Esta relação também se aplica aos cometas que revolucionam em torno do Sol.

As três leis de Kepler assim enunciadas permitem determinar todas as posições passadas e futuras de cada planeta e de cada cometa no Sistema Solar. Nenhum dos modelos propostos anteriormente centrados na Terra jamais teriam dado origem as Leis

Tabela 4 – 3ª Lei de Kepler: Harmônica.

Planeta	T (anos)	R_{med} (UA)	K
Mercúrio	0,387	0,241	1,002
Vênus	0,723	0,615	1,001
Terra	1,000	1,000	1,000
Marte	1,524	0,881	1,000
Júpiter	5,203	11,860	0,999
Saturno	9,539	29,460	1,000
Urano	19,190	84,010	0,999
Netuno	30,060	164,800	1,000

Fonte: The Astronomical Almanac 2023.

de Kepler, o que demonstra a robustez da descoberta científica realizada.

O leitor interessado pode encontrar uma leitura complementar na Dissertação de Mestrado *As observações Astronomicas de Galileu e a sua Inserção no Ensino de Física*, defendida no MPASTRO em 2021 (FREIRE, 2021).

5 O Sistema Solar na BNCC e nos Livros Didáticos

De acordo com a abordagem dada anteriormente, o movimento natural dos objetos visíveis no céu, em particular o Sol, a Lua e os planetas, já eram conhecidos por diversas civilizações antigas. Por exemplo, no século IV a.C., a observação sistemática da Lua permitiu que o filósofo grego Platão percebesse que as fases podiam ser explicadas supondo que a mesma era uma esfera que refletia a luz solar e que se movia perfeitamente em torno da Terra em um ciclo completo de fases, Lunação, que ocorria em um período aproximado de 29 dias¹ (BOCZKO, 1984).

A trajetória lunar é muito próxima da trajetória anual do Sol, ou seja, realizada ao longo do plano da Eclíptica. Contudo, é importante ressaltar que esta trajetória se encontra ligeiramente inclinada em relação àquela do Sol. De outra forma, teríamos frequentemente os eclipses do Sol e da Lua. No primeiro caso, a Lua apareceria exatamente na frente do Sol em cada fase Nova. No segundo, este astro estaria em oposição ao Sol em cada fase Cheia, atravessando a sombra provocada pela Terra.

Da mesma forma que o Sol e a Lua, todos os planetas nascem no lado Leste e se põem no lado Oeste. Além deste movimento diário para o Oeste, existe também um lento desvio anual para o Leste em relação às estrelas e um terceiro ainda mais notável e intrigante, como visto, abordado por Platão: em determinadas alturas, o planeta interrompe o movimento para Leste em relação ao fundo de estrelas e, durante alguns meses, move-se na direção oposta, em um movimento retrógrado, realizando uma laçada no céu. A Figura 16 ilustra este particular movimento para os planetas Mercúrio e Saturno, respectivamente, interno e externo à órbita da Terra para o ano de 2020.

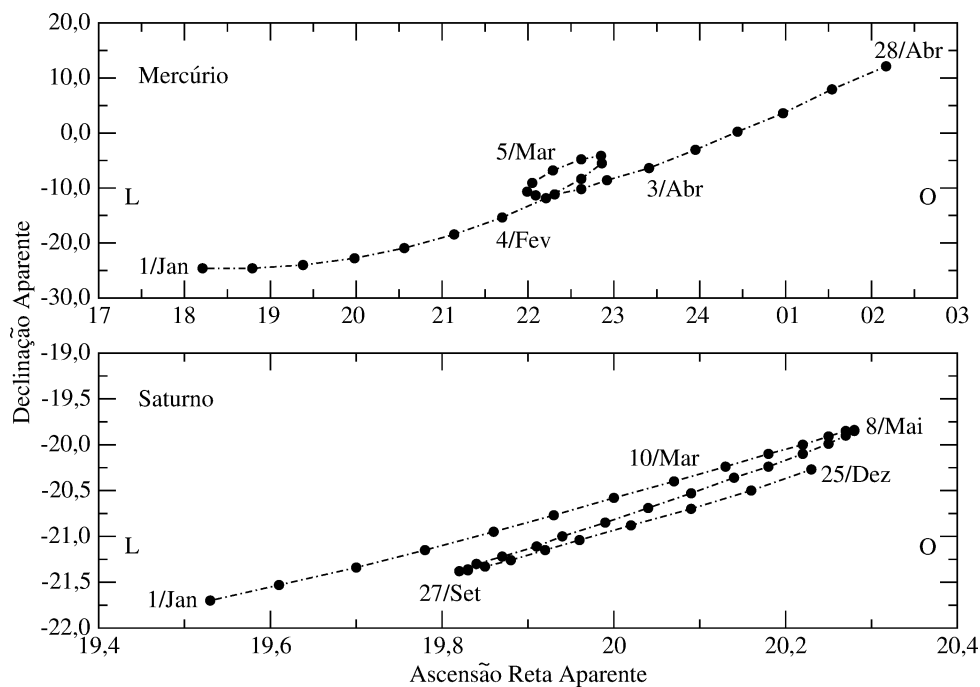
5.1 O Sistema Solar na Base Nacional Comum Curricular

Ao analisar a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), como documento normativo para as redes de ensino (públicas e privadas) e referência obrigatória para elaboração dos currículos e propostas pedagógicas para a Educação Infantil, Ensinos Fundamental

¹ Atualmente, como informação complementar, sabemos que o intervalo de tempo vale 29,530589 dias (COX, 1999) e é conhecido como Mês Sinódico, definido como o intervalo de tempo médio entre 2 fases iguais consecutivas.

(I e II) e Médio no Brasil, o conteúdo sobre o movimento planetário tal qual descrito até então, não se encontra posto explicitamente na Área de Ciências da Natureza (Ensino Fundamental) e nem tão pouco nas Competências Específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, integrada por Biologia, Física e Química, tratadas no Ensino Médio.

Figura 16 – Movimento retrógrado dos planetas Mercúrio e Saturno para o ano de 2020. Notem que as dimensões e as formas das curvas retrógradadas são diferentes, como observado anteriormente (Capítulo 3) para o planeta Marte em anos distintos.



Fonte: De autoria própria.

O estudo do céu representa, provavelmente, a mais antiga das atividades realizadas pelo intelecto humano e este aspecto histórico evolutivo das ideias científicas são geralmente ignorados na grande maioria dos livros didáticos e também na BNCC. Ainda, é importante salientar que os mais variados fenômenos celestes foram sendo gradualmente mapeados ao longo do tempo e que a Matemática foi se revelando como uma aliada indispensável para explicar os ciclos por meio de dados que permitiam construir algum tipo de modelo ou teoria. Portanto, embora tenhamos na BNCC a Unidade Temática “Terra e Universo” com importantes conteúdos e fundamentações, existem aspectos históricos que não podem ficar alheios aos estudantes, pois representam as chaves para o entendimento evolutivo das ideias da Astronomia. Todo o desenvolvimento científico posterior decorre da compreensão do ciclo celeste fundamental observado, ou seja, da natural sucessão dos dias e das noites. Essa é uma crítica que apresentamos à BNCC.

A necessidade de estreitar a relação entre teoria e prática no processo de ensino-aprendizagem, perfeitamente presente no problema do movimento planetário, deve ser construída a partir de um contexto que seja significativo aos estudantes. As hipóteses

teóricas formuladas ganham sentido no cotidiano destes quando associadas a um contexto histórico. Para o filósofo e pedagogo norte-americano John Dewey (1859-1952), a relação entre teoria e prática é indissociável, onde o conhecimento é construído de forma coletiva, compartilhando experiências, por consensos e discussões. Nesse contexto, Dewey escreveu: O aprendizado se dá quando compartilhamos experiências, e isso só é possível num ambiente democrático, onde não haja barreiras ao intercâmbio de pensamento” (PITOMBO, 1974).

A aprendizagem acontece quando os estudantes são inseridos diante de problemas reais, desafiadores, mas com o devido aporte das ferramentas necessárias. Mais do que reproduzir o conhecimento, é necessário o incentivo ao desenvolvimento contínuo e a preparação para a transformação. Na visão de Dewey é “uma constante reconstrução da experiência, de forma a dar-lhe cada vez mais sentido e a habilitar as novas gerações a responder aos desafios da sociedade”.

O processo de aprendizagem transcorre por meio da mediação, intrínseco no comportamento social e histórico das culturas nas atividades desenvolvidas no processo. Para o psicólogo Lev Vygotsky (1896-1934), a aprendizagem é indispensável para que aconteça o desenvolvimento, pois ela intercorre das interações sociais de forma que o professor forneça as ferramentas necessárias que conduzem os estudantes até a conquista do conhecimento.

Igualmente significativa é contextualizar as diferentes disciplinas em torno de um objetivo, articulando e reunido. A interdisciplinaridade procura reunir situações pessoais, sociais e culturais do educando, concordando com a teoria de Vygotsky. O educando constrói sua aprendizagem por meio das relações sociais. Vilela e Mendes (2003) define a interdisciplinaridade da seguinte forma:

(...) A interdisciplinaridade é considerada uma inter-relação e interação as disciplinas a fim de atingir um objetivo comum. Nesse caso, ocorre uma Unificação conceitual dos métodos e estruturas em que as potencialidades das disciplinas são exploradas e ampliadas. Estabelece-se uma interdependência entre as disciplinas, busca-se o diálogo com outras formas de conhecimento e com outras metodologias, com objetivo de construir um novo conhecimento. Dessa maneira a interdisciplinaridade se apresenta como resposta à diversidade, à complexidade e à dinâmica do mundo atual.

Retomando a Unidade Temática “Terra e Universo”, o objetivo é a compreensão das características da Terra, do Sol, da Lua e de outros corpos celestes, suas dimensões, composição, localizações, movimentos e forças que atuam entre eles. No entanto, o texto da BNCC para a Educação Básica salienta, apenas, que a construção dos conhecimentos sobre a Terra e o céu “se deu de diferentes formas em distintas culturas ao longo da história da humanidade” (BRASIL, 2018). Ora, as experiências observacionais acumuladas dos principais fenômenos celestes foram fundamentais para a construção do conhecimento

astronômico e este ponto representa um aspecto histórico fundamental que precisa ser abordado na sala de aula.

No entanto, os livros didáticos ainda não tratam desta temática, embora a observação do céu já esteja presente no Componente Curricular de Ciências do 1º ano do Ensino Fundamental I, sendo continuado nos anos seguintes com a exploração do céu diurno e noturno (por exemplo, GIL, FANIZZI, 2018: PNLD 2018 – 2022).

De acordo com a BNCC, na Educação Básica, a área de Ciências da Natureza deve contribuir com a construção de uma base de conhecimentos contextualizada, que prepare os estudantes para fazer julgamentos, tomar iniciativas, elaborar argumentos e apresentar proposições alternativas, bem como fazer uso criterioso de diversas tecnologias. Na perspectiva do Ensino Médio, a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias propõe ampliar e sistematizar as aprendizagens essenciais desenvolvidas até o 9º ano do Ensino Fundamental. Diante dessas informações, dois aspectos devem ser destacados:

(i) o primeiro é que a proposta da BNCC objetiva focar na interpretação de fenômenos naturais e dos respectivos processos tecnológicos associados, de modo a possibilitar que os estudantes se apropriem de conceitos, procedimentos e teorias dos diversos campos das Ciências da Natureza.

(ii) em segundo lugar, a proposta também objetiva criar condições para que os estudantes possam explorar os diferentes modos de pensar e de falar da cultura científica, situando-a como uma das formas de organização do conhecimento produzido em diferentes contextos históricos e sociais, possibilitando-lhes apropriar-se dessas linguagens específicas.

Esses dois aspectos casam-se perfeitamente com o problema do movimento planetário que atravessou gerações de pesquisadores e perdurou cerca de 2000 anos. Como dar continuidade no Ensino Médio a uma temática, ampliando e sistematizando as aprendizagens essenciais desenvolvidas, se tal conteúdo não é tratado previamente nos anos anteriores do Fundamental I e II? Trata-se de uma temática que permeia completamente os dois pontos salientados acima. Portanto, ratificamos as questões apresentadas no final da Introdução e a escolha do tema sobre o movimento planetário como a proposta do Mestrado Profissional em Astronomia da UEFS.

A observação de fenômenos celestes esteve presente e influenciou diversas civilizações antigas. Para algumas destas culturas, o conhecimento era de interesse puramente prático. O exemplo mais ilustrativo era a do povo egípcio, marcado por uma falta de interesse pela reflexão filosófica, sem qualquer preocupação com teorias a respeito do Sol e da Lua, nem com quaisquer ideias a respeito do movimento dos planetas, embora soubessem que os mesmos se moviam entre as estrelas fixas (RONAN, 1984). Por outro lado, houve civilizações que passaram a estudar como os astros aparentemente se moviam no céu. As

sistemáticas observações aliadas ao natural interesse científico que existe no ser humano possibilitaram muitos pensadores da Antiguidade a elaborar teorias e a propor modelos que buscavam descrever esses movimentos. Nesse aspecto, a ciência grega é tomada como referência na figura de vários filósofos que se debruçaram a entender como o “Universo” em seu tempo funcionava. De fato, os gregos foram os povos que procuraram explicações para os fenômenos naturais sem a necessidade de intervenção divina (ou sobrenatural).

No século IV a.C., os filósofos gregos interrogavam-se sobre o seguinte problema: Como explicar as variações cíclicas observadas no céu? Em outras palavras, que modelo pode dar conta, de uma maneira concisa e precisa, de todos os movimentos celestes? Ao estudar a contribuição de Platão na Astronomia (DREYER, 1953, RONAN, 1983, VERDET, 1990, COLLISON, 2004), notamos que muito da produção filosófica é um desenvolvimento de temas socráticos. Por exemplo, Platão postula a existência de um “reino” de formas perfeitas que seriam eternas, divinas, imutáveis e passíveis de serem conhecidas pelo intelecto.

Então, nesse contexto, as estrelas moviam-se com velocidade uniforme em torno da Terra, na mais perfeita e regular de todas as trajetórias, o círculo. Mas, outros corpos celestes, o Sol e os planetas, não respeitavam essa perfeição e se deslocavam no céu em trajetórias complicadas, incluindo até movimentos retrógrados. Entretanto, sendo astros, movem-se, certamente, de maneira adequada realizando combinações de círculos perfeitos. Quais combinações de movimentos circulares, tomadas com velocidade constante, podem ser apresentadas para explicar as variações peculiares observadas nos planetas?

Este é o problema de Platão e que foi apresentado aos seus discípulos. A busca por uma resposta culminou no desdobramento de duas soluções: uma com o centro na Terra (modelo Geocêntrico) e a outra com o centro no Sol (modelo Heliocêntrico).

Novamente, de acordo com a BNCC e na unidade temática “Terra e Universo” que permeia o Ensino de Ciências, uma leitura do mesmo permite concluir que o conhecimento deve ser ampliado e aprofundado por meio da articulação entre os conhecimentos e as experiências de observação vivenciadas nos anos iniciais, tratando também dos modelos desenvolvidos pela ciência que buscam explicar os mais variados fenômenos que envolvem a Terra, Lua e Sol, de modo a fundamentar a compreensão da controvérsia histórica entre as visões geocêntrica e heliocêntrica. No entanto, não encontramos nos Objetos de Conhecimento relativos à unidade temática “Terra e Universo”, com as respectivas habilidades, uma alusão direta aos modelos Geocêntrico de Ptolomeu e Heliocêntrico de Copérnico, de suma importância na História da Astronomia por tratar de vários aspectos e desdobramentos em várias outras áreas da Astronomia.

Embora alguns autores percebam a importância e dediquem brevemente um comentário sobre o Geocentrismo e o Heliocentrismo (CARNEVALLE, 2018: PNLD 2020-2023), este trabalho dissertativo vai muito mais além e objetiva levantar tal discussão e revelar

a importância histórica e matemática deste assunto na Ciência.

A construção do conhecimento científico ocorre por meio da curiosidade do ser humano, da interação com o meio físico, social e cultural, no esforço para elaborar representações e interpretações que solucionem as inquietações do sujeito. "O conhecimento científico é um aprendizado ordenado e contínuo que ocorre por meio de estudos incessantes. [...] é considerado um processo de longo prazo, ou seja, não acontece por acaso ou por intuição"(FACHIN, 2001).

Distinto, portanto, do senso comum, que surge da necessidade de resolver problemas imediatos, sem planejamento, instintivo e subjetivo, o conhecimento científico faz-se pela investigação científica com métodos, objetivo, metódico, plausível de demonstração, verificação de resultado e comprovação. Segundo Tartuce (2006), "(...) o conhecimento científico exige demonstrações, submete-se à comprovação, ao teste."

O progresso científico da Astronomia ao longo dos séculos aliada ao desenvolvimento da Matemática possibilitaram descobrir, qualificar e quantificar importantes padrões nas observações dos corpos celestes. De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (1998, p. 40):

(...) a própria História da Matemática mostra que ela foi construída como resposta a perguntas provenientes de diferentes origens e contextos, motivadas por problemas de ordem prática (divisão de terras, cálculo de créditos), por problemas vinculados a outras ciências (Física, Astronomia), bem como por problemas relacionados a investigações internas à própria Matemática.

Em conformidade com a BNCC,

O conhecimento matemático é necessário para todos os alunos da Educação Básica, seja por sua grande aplicação na sociedade contemporânea, seja pelas suas potencialidades na formação de cidadãos críticos, cientes de suas responsabilidades sociais. A Matemática não se restringe apenas à quantificação de fenômenos determinísticos – contagem, medição de objetos, grandezas – e das técnicas de cálculo com os números e com as grandezas, pois também estuda a incerteza proveniente de fenômenos de caráter aleatório. A Matemática cria sistemas abstratos, que organizam e inter-relacionam fenômenos do espaço, do movimento, das formas e dos números, associados ou não a fenômenos do mundo físico. Esses sistemas contêm ideias e objetos que são fundamentais para a compreensão de fenômenos, a construção de representações significativas e argumentações consistentes nos mais variados contextos (BRASIL, 2018).

As abordagens históricas que movimentaram as concepções dos dois Sistemas de Mundo, Geocêntrico e Heliocêntrico, não estão presentes nos livros didáticos planejados para o ensino da Matemática. Discussões importantes sobre as ricas ideias de grandes filósofos gregos são suprimidas, sendo necessário realizar um levantamento com a finalidade de verificar as metodologias utilizadas no ensino dessas duas áreas do conhecimento que

se relacionam desde a Antiguidade e que contribuíram para o desenvolvimento de diversas civilizações.

5.2 Sistema Solar e os Livros Didáticos

Na área de Ciências da Natureza, de acordo com a BNCC, “a sociedade contemporânea está fortemente organizada com base no desenvolvimento científico e tecnológico”, onde, ao longo do Ensino Fundamental, tem um compromisso com o desenvolvimento do letramento científico (LEAL, 2023), que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais das ciências. Este aspecto assegura aos alunos o acesso à diversidade de conhecimentos científicos produzidos ao longo da História, bem como a aproximação gradativa aos principais processos, práticas e procedimentos da investigação científica.

Para além dos documentos educacionais, o ensino tem como referência os conceitos apresentados nos livros didáticos, sendo, na grande maioria dos casos, o instrumento mais importantes e praticamente o único de apoio do(a) professor(a) na sala de aula. Representa a principal fonte de estudo e de pesquisa dos estudantes, decisivo, portanto, para a qualidade do aprendizado. O livro didático é um norteador do planejamento do educador, sugerindo caminhos e estratégias lógicas para a aprendizagem, um ponto de apoio para facilitar e evitar lacunas na apresentação do conteúdo. Contudo o professor(a) também tem liberdade para inovar nas estratégias de ensino, a utilização do livro didático como único instrumento de trabalho, sem análises a respeito de erros, metodologia inadequada ou conceitos importantes não mencionados, podem ocasionar omissões, provocando preocupações no contexto educacional.

No ponto de vista de Marisa Lajolo (1996), um livro didático é aquele que:

[...] vai ser utilizado em aulas e cursos, que provavelmente foi escrito, editado, vendido e comprado, tendo em vista essa utilização escolar e sistemática. [...] o livro didático é instrumento específico e importantíssimo de ensino e de aprendizagem formal. Muito embora não seja o único material de que professores e alunos vão valer-se no processo de ensino e aprendizagem, ele pode ser decisivo para a qualidade do aprendizado resultante das atividades escolares. [...] Assim, para ser considerado didático, um livro precisa ser usado, de forma sistemática, no ensino-aprendizagem de um determinado objeto do conhecimento humano, geralmente já consolidado como disciplina escolar.

O objetivo desse levantamento consiste em investigar de qual forma os conteúdos referentes à Astronomia encontram-se presente nos livros didáticos de Matemática e Ciências do Ensino Fundamental anos finais. Em particular, destacamos o tratamento dado

aos conteúdos de movimento retrógrado dos planetas e aos modelos cosmológicos, identificando e caracterizando os principais elementos de Astronomia presentes, as metodologias, além da disponibilização de atividades práticas e experimentais na abordagem do tema.

As análises dos temas de Astronomia foram realizadas nos livros didáticos de Matemática e Ciências do Ensino Fundamental nos anos finais, 6º ao 9º ano. Os temas analisados: Astronomia, Geocentrismo, Heliocentrismo, Órbitas dos Planetas e Movimento Retrógrado. Uma amostragem de 10 livros didáticos de Matemática e de Ciências (Tabelas 5 - 8), foram selecionados de forma criteriosa nesta etapa do trabalho.

Tabela 5 – Análise dos temas de Astronomia nos livros didáticos de Matemática, Ensino Fundamental dos anos finais (6º ao 9º ano).

Levantamento dos Livros Didáticos	
Títulos (Editoras)	Conteúdos de Astronomia Relacionados
Matemática (Sucesso)	6º Ano Circunferência na Astronomia.
	7º Ano Ângulos na Astronomia.
	8º Ano Circunferência e distância.
	9º Ano Estudo da Trigonometria.
Descobrimos e Aplicando a Matemática (Dimensão, 1º ed/ 2012)	6º Ano Nenhuma referência encontrada.
	7º Ano Nenhuma referência encontrada.
	8º Ano Nenhuma referência encontrada.
	9º Ano Nenhuma referência encontrada.
Araribá Mais: Matemática (Moderna, 1º ed/ 2018)	6º Ano Calcular medidas e distâncias.
	7º Ano Nenhuma referência encontrada.
	8º Ano Nenhuma referência encontrada.
	9º Ano Distâncias astronômicas.
Matemática: Compreensão e Prática (Moderna, 3º ed/ 2015)	6º Ano História sobre Erastóstenes.
	7º Ano Ângulos na Astronomia.
	8º Ano História sobre Galileu.
	9º Ano História sobre Hiparco e trigonometria.
Matemática Bianchini (Moderna, 8º ed/ 2015)	6º Ano Nenhuma referência encontrada.
	7º Ano Nenhuma referência encontrada.
	8º Ano Nenhuma referência encontrada.
	9º Ano História sobre Pitágoras e ângulos

Fonte: De autoria própria.

Conforme demonstrado nas Tabelas 5 e 6, os temas relacionados com a Astronomia abordados nos livros didáticos de Matemática do Ensino Fundamental nos anos finais, restringem-se a breves relatos sobre as histórias dos filósofos antigos que contribuíram com o desenvolvimento dessas duas importantes Ciências. Algumas curiosidades sobre aplicação de determinado conteúdo na Astronomia, com pequenos textos de apoio

Tabela 6 – Livros e Autores analisados, levantamento dos livros didáticos de Matemática (6º ao 9º ano).

Livros de Matemática	
Autores	Títulos (Editoras)
Judson Santos e Annelise Maymone	Matemática (Sucesso)
Alceu dos Santos Mazzeiro e Paulo Antônio Fonseca Machado	Descobrimo e aplicando a Matemática (Dimensão, 2012)
Gay, Mara Regina Garcia e Silva, Willian Raphael	Araribá mais: Matemática (Moderna 2018)
Silveira, Ênio	Matemática: compreensão e Prática (Moderna, 2015)
Edwaldo Bianchini	Matemática Bianchini (Moderna, 2015)

Fonte: De autoria própria.

que assemelham a notas de rodapé sem o devido aprofundamento ou sugestões de fontes de pesquisa para que o professor e o estudante possam reforçar seu conhecimento. Temas como Heliocentrismo, Geocentrismo e o movimento retrógrado dos planetas, com abordagens tanto da Matemática quanto da Geometria, não são mencionados. Os livros didáticos de Matemática devem abranger elementos históricos da Matemática, no entanto, as fragilidades e distanciamento entre as abordagem dos conteúdos apresentam falhas ao não abordar temas importantes para a formação do estudante.

Nas Tabelas 7 e 8 a seguir, examinamos como os livros didáticos de Ciências discorrem os temas de Astronomia no Ensino Fundamental (anos finais).

No sentido de orientar a elaboração dos currículos de Ciências nas escola,s assegurando aprendizagem essenciais para aprender a respeito da diversidade e dos processos de evolução humana do mundo material, o componente curricular foi organizado pela BNCC em três unidades temáticas ao longo de todo o ensino fundamental: Matéria e Energia, Evolução da Vida, Terra e Universo. A unidade temática Matéria e energia contempla o estudo de materiais e suas transformações, fontes e tipos de energia utilizados na vida em geral, na perspectiva de construir conhecimento sobre a natureza da matéria e os diferentes usos da energia.

[...] A unidade temática Vida e evolução propõe o estudo de questões relacionadas aos seres vivos (incluindo os seres humanos), suas características e necessidades, e a vida como fenômeno natural e social, os elementos essenciais à sua manutenção e à compreensão dos processos evolutivos que geram a diversidade de formas de vida no planeta.[...] Na unidade temática Terra e Universo, busca-se a compreensão de características da Terra, do Sol, da Lua e de outros corpos celestes – suas

Tabela 7 – Livros e Autores analisados, levantamento dos livros didáticos de Ciências da Natureza (6º ao 9º ano).

Livros de Ciências da Natureza	
Autores	Títulos (Editoras)
Godoy, Leandro Pereira de	Ciências Vida e Universo 1. ed. (FTD, 2018)
Hiranaka, Roberta Aparecida Bueno	Inspire ciências 1.ed. (FTD, 2018)
Usberco [et al]	Companhia das ciências 5. Ed (Saraiva, 2018)
Sônia Lopes, Jorge Audino	Inovar ciências da natureza 1.ed. (Saraiva, 2018)
Eduardo Leite do Canto, Laura Celloto Canto	Ciências naturais: Aprendendo com o cotidiano 9. ed. (Moderna, 2018)

Fonte: De autoria própria.

dimensões, composição, localizações, movimentos e forças que atuam entre eles (BRASIL, 2018).

Os livros de Ciências da Natureza examinados apresentaram uma divisão semelhantes de conteúdos: 6º ano com conteúdo de aspectos relacionados com Geociência; 7º e 8º ano abordam conteúdos referentes aos seres vivos e corpo humano; 9º ano introduz as disciplinas de Química e Física. Notamos que há uma grande concentração dos conteúdos de Astronomia no 6º ano e no 9º ano, destaque para a frequência com que os conteúdos são referidos e o seu grau de discussão. Menções simples, abordagem limitada ou não apresentação de temas relacionados à Astronomia destacam-se nos livros do 7º ano. Novamente em nenhuma coleção verificou-se abordagem sobre movimento retrógrado dos planetas, o que ratifica a temática escolhida nesta Dissertação de Mestrado.

A área de Ciências da Natureza tem um compromisso com o desenvolvimento do letramento científico, que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais das ciências.[...] a área de Ciências da Natureza, por meio de um olhar articulado de diversos campos do saber, precisa assegurar aos alunos do Ensino Fundamental o acesso à diversidade de conhecimentos científicos produzidos ao longo da história, bem como a aproximação gradativa aos principais processos, práticas e procedimentos da investigação científica (BRASIL, 2018).

Embora nos documentos oficiais já esteja orientado à introdução de determinados conteúdo específicos, “o acesso à diversidade de conhecimentos científicos produzidos ao longo da história”(BRASIL, 2018), os livros didáticos apresentam divergência a respeito da abordagem dos temas e carência de atividades práticas para inserir a Astronomia

Tabela 8 – Análise dos temas de Astronomia nos livros didáticos de Ciências da Natureza, ensino fundamental anos finais (6º ao 9º ano).

Levantamento Livros Didáticos	
Títulos (Editoras)	Conteúdos de Astronomia Relacionados
Ciências Vida e Universo (FTD, 1º ed/2018)	6º Ano Formato e os movimentos da Terra.
	7º Ano A história das Pirâmides.
	8º Ano Fases, Órbita da Lua.
	9º Ano Estrutura do Universo.
Inspire ciências (FTD, 1º ed/2018)	6º Ano Formato da Terra.
	7º Ano Atmosfera da Terra.
	8º Ano Atmosfera da Terra.
	9º Ano Estrutura do Universo.
Companhia das Ciências (Saraiva, 5º ed/ 2018)	6º Ano Estrutura do Universo.
	7º Ano Nenhuma referência encontrada.
	8º Ano Sistema Sol, Terra e Lua.
	9º Ano Estrelas, Sistema Solar, Etnoastronomia Vida fora da Terra.
Inovar Ciências da Natureza (Saraiva, 1º ed/ 2018)	6º Ano Formato e os movimentos da Terra.
	7º Ano Nenhuma referência encontrada.
	8º Ano Sistema Sol, Terra e Lua.
	9º Ano Sistema Solar, Via Láctea e Universo.
Ciências Naturais: Aprendendo com o Cotidiano (Moderna, 1º ed/ 2018)	6º Ano Dia e Noite: regularidade celeste.
	7º Ano Nenhuma referência encontrada.
	8º Ano Lua e Constelações.
	9º Ano Gravitação.

Fonte: De autoria própria.

de forma detalhada. De tal maneira, a chamada “Contextualização Social, Cultural e Histórica”, associada as importantes análises de cunho histórico dos antigos pensadores gregos para a ciência astronômica ainda permanecem preteridos na sala de aula.

6 Metodologia de Estudo

A pesquisa é um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. O objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos (GIL, 1999).

Diversos procedimentos técnicos para as etapas de composição metodológica investigativa de um trabalho científico podem envolver: (i) uma Pesquisa Bibliográfica, (ii) uma Pesquisa Descritiva e/ou (iii) uma Pesquisa Experimental.

(i) Pesquisa Bibliográfica: Nesta etapa do trabalho, estaremos interessados em caracterizar o problema do movimento planetário, elencar hipóteses a partir de referências teóricas publicadas na literatura (artigos, livros, dissertações, teses, etc.), que estimulem a compreensão do tema.

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem porém pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta. Fonseca (2002) acrescenta a tudo isso mais um fator:

(...) a pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem porém pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta.

No que concerne à literatura, o material selecionado de estudo foi relativamente vasto, (DREYER, 1953; KAHN, 1960; PANNEKOEK, 1960; GUTHRIE, 1962-1981; BARBOSA, 1063; LAËRTIOS, 1988; REALE, 1993; MOTZ L., 1995; HOSKIN, 1999; COLLINSON, 2004; HEATH, 2011; COHEN S.M., 2011; MAZER, 2011; COUPRIER, 2011; DICATI, 2013; STOCKS, 2015; KANAS, 2012; VELÁSQUEZ-TORIBIO A.M., 2019), no qual permitiu um resgate histórico suficiente para abordar o problema. No entanto,

ao confrontar com os livros didáticos descritos no Capítulo 5, verificamos que nenhuma abordagem histórica do Problema de Platão foi tratada.

(ii) Pesquisa Descritiva: A proposta é objetiva e consiste em observar, classificar, explicar e interpretar o movimento planetário por meio de recursos diversos, como filmes, vídeos, documentários, simulações etc. A pesquisa descritiva exige do investigador uma série de informações sobre o que deseja pesquisar. Esse tipo de estudo pretende descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade (TRIVIÑOS, 1987). Aprofundando o conhecimento do movimento planetário e modelos que melhor o descreve, já explorados na etapa anterior.

Nesse sentido, fizemos uso de diferentes fontes como filmes/documentários (Série Cosmos: Harmonia dos Mundos - Carl Sagan¹), simulações em web sites que ilustram o problema ora tratado (<http://www.astro.iag.usp.br/gastao/Retrogrado/retrogrado.html>) e também de vídeo aulas (<https://eaulas.usp.br/portal/profession.action?profession=Astronomia>).

(iii) Pesquisa Experimental: Neste momento, pretendemos dizer de que modo ou por que causas o fenômeno é produzido nos dois sistemas de mundo, Geocêntrico e Heliocêntrico. Segundo Gil et al. (2002), uma pesquisa explicativa pode ser a continuação de outra descritiva, posto que a identificação de fatores que determinam um fenômeno exige que este esteja suficientemente descrito e detalhado. Para atingir os resultados esperados, devemos fazer uso de dados observacionais e de procedimentos apropriados capazes de tornar perceptíveis as relações existentes entre as variáveis envolvidas no estudo.

Nesta etapa, o problema está, por exemplo, associado aos dados presentes nas Tabelas 1 e 2 do Capítulo 3, no qual consiste em descobrir a taxa à qual se movem os planetas em torno do Sol empregando observações realizadas a partir da Terra, que por sua vez também se move em torno do Sol. No entanto, ponderamos o não desenvolvimento neste trabalho do aspecto matemático-geométrico devido à mudança do Sistema de Referência da Terra para o Sol, deixando, o mesmo, para uma análise posterior.

No que concerne, então, a natureza deste trabalho, salientamos que o nosso foco é fornecer elementos que possibilitem o entendimento dos fatos históricos que culminaram no correto entendimento do movimento planetário. Nesse sentido, a abordagem empregada situa-se no campo qualitativo do problema, interpretando os fenômenos que provocaram o desenvolvimento de teorias sobre os movimentos dos corpos celestes, analisando e compreendendo os conceitos científicos que possibilitem ao professor(a), por meio de um Produto Técnico Educacional, uma discussão histórica das ideias em sala de aula.

¹ A série de TV Cosmos, realizada por Carl Sagan e sua esposa Ann Druyan, foi produzida pela KCET e Carl Sagan Productions, em associação com a BBC e a Polytel International, veiculada na PBS em 1980. A série Cosmos é um dos mais formidáveis exemplos da amplitude e eficácia que a divulgação científica pode atingir por meios audiovisuais, quando servida por uma personalidade carismática como Carl Sagan e por meios técnicos adequados.

7 Produtos Técnicos Educacionais

De acordo com teoria de Piaget (1986), uma aula deve ser dinâmica, acompanhada de ações e demonstrações que ofertem aos estudantes oportunidades de interação. No entanto, observa-se que as aulas práticas têm sido atividades ausentes no universo escolar, com professores(as) que sejam capacitados para trabalhar na construção de conhecimento por meio de diferentes metodologias.

Ao desenvolver conceitos científicos, pesquisas e soluções de problemas fazendo-se uso de aulas práticas, uma nova visão sobre o conteúdo é construída, ampliando reflexões e discursões. Segundo Piletti (1988), a aula prática é muito importante para os estudos de Ciências, pois é por meio dela que o educando aprende a tirar conclusões e a fazer generalizações sem nenhum “esforço” com fatos fundamentais para a disciplina, desenvolvendo a capacidade de explicar o meio em que vive e podendo atuar sobre ele.

Torna-se inquestionável que a Astronomia possui um potencial substancial para se associar as disciplinas do currículo básico escolar brasileiro, favorecendo várias contribuições, tanto para o ensino das Ciências exatas como para a Ciências humanas, possibilitando a concretização de um ensino pautado na interdisciplinaridade.

Para Dias e Rita (2008), o estudo da Astronomia se faz necessário, pois além de proporcionar um grande espaço para interdisciplinaridade, principalmente com a Física, Química, Matemática, Geografia, História, Meteorologia e Biologia, ela pode ser utilizada como eixo norteador para queo professor chame a atenção dos alunos, pois é um dos temas que mais os atraem.

Diante da importância e com objetivo de favorecer a abordagem da temática histórica do conhecimento científico sobre o “Problema de Platão” relativo ao movimento planetário, propomos a construção dos seguintes PTE (Produto Técnico Educacional) associados a este trabalho dissertativo: (1) Manual de Oficinas Pedagógicas, (2) Artigo Científico e (3) Atividade Prática baseada no aplicativo “Simulador de Órbitas Planetárias do NAAP Labs” - The Nebraska Astronomy Applet Project (<https://astro.unl.edu/nativeapps/>).

7.1 Manual de Oficinas Pedagógicas

Na construção do conhecimento científico em um ambiente escolar, a utilização de metodologias ativas e diversificadas favorecem aos estudantes elementos de motivação, participação e que agregam valores no processo de ensino-aprendizagem, tornando

o mesmo mais significativo. Segundo Perez et al. (1983), quando o indivíduo consegue construir um significado, reproduzindo o que lhe é ensinado, este passa a participar do processo de construção ativa de seus próprios significados. Aquilo que é significativo para o estudante será relacionado as suas concepções de mundo, em forma de conceitos pertencentes ao conhecimento científico.

Com o compromisso de mediar o estudante na busca por conhecimento, o(a) professor(a) não deve limitar-se apenas ao ensino tradicional. Torna-se necessário criar estratégias que favoreçam o aprendizado do estudante e a motivação em querer aprender. Uma maneira de construir esses conhecimentos são as ‘Oficinas Pedagógicas’, entendidas como um espaço que propicia a formação coletiva e a troca de experiências fundamentadas em características dinâmicas e interativas entre os participantes.

Para Monteiro et al. (2019), como instrumentos de apoio didático e pedagógico, as Oficinas visam superar as dificuldades dos estudantes de forma descontraída, sem a pressão da sala de aula, deixando os mesmos mais à vontade para participar.

As oficinas pedagógicas são situações de ensino e aprendizagem por natureza abertas e dinâmicas, o que se revela essencial no caso da escola pública – instituição que acolhe indivíduos oriundos dos meios populares, cuja cultura precisa ser valorizada para que se entabulem as necessárias articulações entre os saberes populares e os saberes científicos ensinados na escola (MOITA; ANDRADE, 2006).

Sendo a Oficina uma modalidade de ação, na opinião de Volquind (2000), toda Oficina necessita promover a investigação, a ação à reflexão; combinar o trabalho individual e a tarefa socializada; garantir a unidade entre a teoria e a prática. O professor deve incentivar o desenvolvimento social, cognitivo, histórico e interativo dos estudantes, visando suprir as dificuldades de aprendizagem. Em conformidade com MÜTSCHLE (1992), o educador deve fazer da educação uma ação permanente voltada para as realidades da vida, baseada no passado e ao mesmo tempo voltada para o progresso.

A questão fundamental das oficinas é inovar e transmitir os conteúdos de uma forma mais simples e descontraída, trazendo o assunto escolar para o cotidiano dos alunos. Mostrando-os que o aprender e o ensinar não são práticas mecânicas, mas sim práticas prazerosas e divertidas (MONTEIRO et al., 2019).

Conforme Queiroz e Paiva (2001), existem três momentos principais de ações em uma Oficina Pedagógica:

- i) Momento Motivador: situações de aprendizagem que propiciem as condições que impulsionam o estudante a agir conscientemente e orientado para determinados fins;
- ii) Momento de Sistematização: situações de aprendizagem desencadeadoras do processo de internalização do aprendizado – a partir da interação social entre profes-

res(as), estudantes e recursos didáticos, onde os estudantes devem reelaborar internamente os atos e as ações nelas implícitas;

iii) Momento Avaliativo: situações de aprendizagem que indiquem o estágio em que cada estudante se encontra no seu processo de organização, unificação e integração dos diversos aspectos do seu agir.

As atividades práticas, como o caso das Oficinas, além de ser uma boa estratégia de ensino, proporciona a interação, estimula a criatividade e a empatia, desenvolvem a autonomia dispondo o estudante no centro do seu processo de aprendizagem. Planejamento é fundamental, adequar as metodologias as condições escolar, utilizar concepções prévias, permitir a interação social e o trabalho coletivo podem favorecer o sucesso da Oficina Pedagógica no processo de ensino-aprendizagem.

Além disso, a BNCC deslocou o desenvolvimento de competências e habilidades para o centro da discussão sobre o papel da escola, reafirmando a necessidade de estabelecermos novos paradigmas para a construção de metodologias que tenham o estudante como protagonista do seu processo de aprendizagem. Esse processo de ensino e aprendizagem baseado em Habilidades e Competências só é possível com a utilização de estratégias didáticas diversificadas que promovam a formação integral dos estudantes, envolvendo os âmbitos cognitivo, emocional e social.

Na perspectiva de propor atividades em que sejam possíveis mesclar o viés científico com o lúdico, diversos autores concordam e já evidenciaram na prática a possibilidade de que esse conhecimento seja absorvido de forma espontânea e que perdure. O conhecimento científico e a ludicidade na Educação Básica são ferramentas essenciais que pode transformar a relação de ensino aprendizagem em conhecimentos significativos.

No sentido de dinamizar o processo de ensino-aprendizagem, agregando valores ao processo de formação dos estudantes e visando despertar nos mesmos um maior interesse sobre temas relacionados à Astronomia, em especial a temática proposta neste trabalho dissertativo, apresentamos um manual de Oficinas para que os professores(as) possam realizar intervenções em sala de aula, abordagem do tema e a confecção de kits didáticos relacionados aos dois outros PTE (Artigo e Atividade Prática), que podem ser adaptados de acordo com as características do local e do ano escolar. O manual de Oficinas Pedagógicas está estruturada nos seguintes tópicos temáticos, conforme a tabela 9.

7.1.1 Tópico Temático I: O Olhar no Céu.

Quando observarmos o céu, distante das luzes da cidade, somos capazes de ter uma ideia de que os nossos ancestrais vislumbravam sobre suas cabeças. Intuitivamente, temos a consciência de estarmos ligados de alguma forma ao céu, quer seja pelo movimento cíclico da Lua, o nascer e o ocaso do Sol, cintilação das estrelas, mudanças de temperatura,

Tabela 9 – Estrutura do manual de Oficinas.

Oficina Pedagógica	
I - Tópico Temático	O Olhar no Céu
II - Tópico Temático	Sistema Solar
III - Tópico Temático	Pensadores e Astronomia Grega
IV - Tópico Temático	Problema de Platão
V - Tópico Temático	As Contribuições de Tycho, Kepler e Galileu Galilei
VI - Tópico Temático	Uso de Tecnologias: Stellarium

Fonte: De autoria própria.

aparições dos eclipses, etc.

Refletir e questionar sobre os mais variados aspectos da natureza, ações primárias do intelecto humano, sempre estiveram presentes ao longo do processo evolutivo da nossa espécie. Então, de certa forma, podemos afirmar que o mais antigo ancestral humano certamente contemplou, dentro de suas próprias percepções de fascínio e medo, o majestoso céu noturno, um palco ainda desconhecido de grandiosos espetáculos com enredos de diferentes magnitudes. Esta simples ação de levantar a cabeça para o firmamento e de se contagiar com algo tão misterioso, foi devidamente registrada no DNA das gerações futuras, agora, não mais na condição de meros espectadores, mas como atrizes e atores que investigam o Universo a partir de instrumentos e de rigorosos métodos científicos.

O longo processo de organização dos antigos povos que convergiram para as conseqüentes sociedades estruturadas em cidades e Estados, permitiram, aproximadamente entre 4000 e 3000 a.C. na denominada Idade Neolítica (Pedra Polida), o surgimento de duas civilizações com características bem diferentes: uma na Mesopotâmia, que corresponde atualmente à região Oeste e Sudoeste do Iraque, e a outra no Egito, com todas as particularidades (ROCHA-POPPE P.C.R., 2022).

As primeiras observações babilônicas com registros de eclipses, planetas e estrelas foram realizadas e documentadas em pequenas tabuletas de argila. No decurso do tempo, em torno de 2500 a.C., as principais pirâmides do Egito, Quéops, Quéfrem e Miquerinos em Gizé, foram erguidas e orientadas na direção dos pontos cardeais e de algumas estrelas, dentre elas Sirius (Sotis), cujo nascer helíaco (com o Sol) indicava anualmente o início das enchentes do rio Nilo, de suma importância para aquele povo.

Embora estes e outros povos (como os chineses) tenham iniciado as suas próprias observações dos fenômenos astronômicos, foram os gregos, originários da península Balcânica que, por meio dos filósofos, dentre eles Platão (c. 428-347 a.C.), iniciaram o desenvolvimento de teorias e dos conceitos iniciais sobre o movimento celeste. A percepção estava relacionada ao movimento de determinados objetos (planetas = errantes) entre as estrelas, supostamente fixas em um imensa Esfera Celeste. Na Antiguidade, este conceito

estava associado ao entendimento de que as posições relativas das estrelas entre si pareciam não variar com o passar do tempo, o que permitiu diferenciar o movimento de astros errantes no céu noturno.

Nossos ancestrais sempre buscaram uma correlação entre suas histórias e os fenômenos celestes visíveis, onde mitos e deuses ganhavam formas no céu. Com observações sistemáticas, curiosidade e muita imaginação, surgiram as constelações e o entendimento dos fenômenos periódicos possibilitaram à organização de ciclos, pontos de referência para orientar e associar fenômenos da natureza com o movimento de objetos celestes.

Ao olharmos para o céu, podemos perceber que, diferente das estrelas, os planetas apresentam um brilho fixo, sem cintilação. No entanto, em condições adversas, ou seja, quando a atmosfera se encontra bastante instável, ou ainda realizando a observação próxima do horizonte, o planeta pode, naturalmente, apresentar cintilações. Mas, apenas nestes casos. Qual a causa das estrelas apresentarem a característica cintilante e os planetas não? Novamente, ao observarmos o céu a olho nu, percebemos que a imagem das estrelas, mesmo por meio de um instrumento óptico, binóculo, luneta ou telescópio, apresentam-se como um ponto luminoso, ao passo que os planetas apresentam um pequeno disco com diâmetro aparente perceptível.

As estrelas, ao realizarem o processo de fusão nuclear, produzem energia perceptível aos nossos olhos no comprimento de onda do visível, luz. Ao contrário, os planetas não produzem energia e apenas refletem a luz emitida pelas estrelas. No caso do Sistema Solar, refletem a luz do Sol.

Os planetas, quando observados em relação as estrelas imutáveis e os agrupamentos aparentes formados, as constelações, deslocam-se na abóboda celeste e foram considerados como “astros errantes”. O deslocamento acontece muito próximo do plano fundamental da Eclíptica e varre as 12+1 constelações, ou seja, as zodiacais e a do Serpentário (Ofiúco).

Ao nos referimos à curiosidade humana pelo céu, pontuamos que essa curiosidade data de tempos pré-históricos e feitos por diversas civilizações com o instinto de sobrevivência e, devido a regularidade de fenômenos celestes, foi possível fazer um mapeamento de estrelas, constelações e dos planetas. A identificação desses fenômenos possibilitou a identificação de períodos de caça, agricultura e pesca, sendo útil para determinar a passagem do tempo, estações do ano e clima.

A proposta são atividades centradas na perspectiva de investigação e construção do conhecimento, uma abordagem lúdica para o estudo do movimento aparente dos corpos celestes e das constelações, baseada na troca de saberes entre aluno-aluno, e professor-aluno. O tópico temático I tem como objetivo aguçar a curiosidade dos alunos, explorar o conhecimento prévio, incentivar a observação do céu, como reconhecer os planetas, comportamento esporádico hoje em dia, a intenção de despertar o interesse pela História da

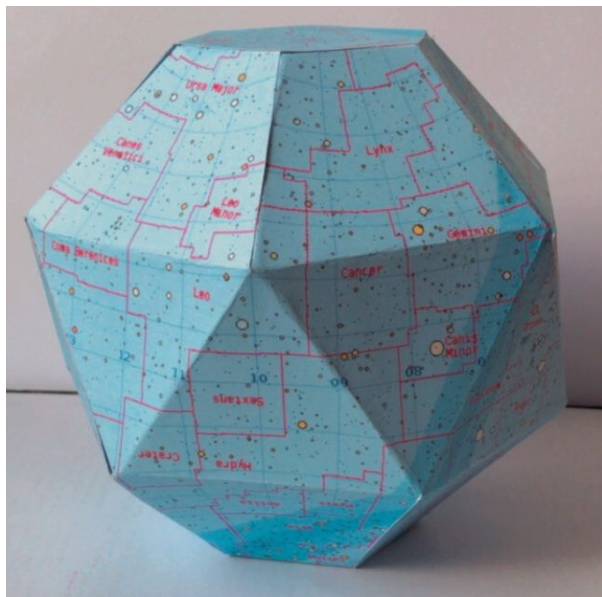
Astronomia. Portanto, este momento encontra-se dividido em três tópicos: (i) contextualização histórica, (ii) observação do céu e (iii) mão na massa.

i) Contextualização Histórica: o primeiro momento pretende instigar os estudante com o seguinte questionamento: “Qual o nosso lugar no Universo?”. Ao estabelecer um diálogo sobre como nossos ancestrais vinculavam suas observações celeste com suas histórias, divindades e a atividades cotidianas, estaremos conduzindo os estudantes a uma discussão de maneira integrada sobre os aspectos epistemológicos da História da Astronomia e, por consequência, propiciando uma compreensão adequada dos conteúdos científicos, estimulando assim o desenvolvimento do pensamento crítico, conectando e humanizando o ensino de Astronomia.

ii) Observação do Céu: o segundo momento é uma oportunidade de examinar conhecimentos astronômicos da Antiguidade já citados no primeiro momento. Astronomia ao olho nu, uso de instrumentos de observação, ou a utilização de softwares (Stellarium, Carte du Ciel, Aladin Sky Atlas, DS9 SAO Image, etc.) destinados a Astronomia que despertam a curiosidade dos estudantes, gerando questionamentos e engajamento sobre a temática estudada.

iii) Mão na Massa: uma forma de oferecer a possibilidade de ultrapassar o conhecimento e o conceito padrão para o entendimento baseado na própria prática. Nesse momento, o estudante deve colocar-se ativamente no seu processo de aprendizagem, aplicando a teoria aprendida, ou seja, unir teoria e prática, estimulando sua criatividade e autonomia. Um exemplo é o uso dos recursos presentes em ‘papercraft’, como o de um ‘globo celeste’, conforme a sugestão de modelo na figura 17, onde é possível compreender os principais conceitos da Esfera Celeste. Essa atividade tem como características favorecer a proatividade do estudante e seu espírito coletivo, além ser uma atividade de baixo custo. O detalhamento deste tópico temático está disponível no Produto Educacional - Oficina Pedagógica.

Figura 17 – Papercraft do ‘globo celeste’. Sugestão de modelo do momento mão na massa no tópico temático I.



Fonte: De autoria própria.

A finalidade do desenvolvimento desse tópico temático I (o olhar no céu) é estimular os alunos a discutir e questionar os aspectos epistemológicos da história das ciências, sua participação no processo de aprendizado por meio da aplicação de atividades diversificadas que também envolvem o uso tecnologias e atividades manuais, tornando o aluno protagonista do processo educacional. O ato de colocar a “mão na massa” configura como prática essencial para auxiliar o entendimento e proporcionar o engajamento dos discentes a uma aprendizagem mais dinâmica sobre o conhecimento proposto.

7.1.2 Tópico Temático II: Sistema Solar.

Uma estrela central (Sol), 8 planetas oficiais, diversos planetas anões, dezenas (+130) de satélites naturais, milhões de asteroides e objetos Transnetunianos (TNO), milhares de cometas e meteoroides, um meio interplanetário repleto de poeira, partículas e radiação cósmica. Basicamente, está é a composição do nosso Sistema Solar. De toda a matéria do Sistema Solar, o Sol contém 99,85% dela, os planetas agregam apenas 0,135% da massa e os satélites dos planetas, cometas, asteroides, meteoroides e o meio interplanetário constituem os restantes 0,015% .

Por definição da União Astronômica Internacional (IAU) 2006 em Praga, reunião XXVI aprovou uma nova definição para planeta¹, a resolução B5 afirma que:

Um planeta é um corpo que (a) está em órbita ao redor do Sol, (b) tem massa suficiente para que sua autogravidade supere as forças do corpo

¹ <https://www.iau.org/news/pressreleases/detail/iau0601/>

rígido, de modo que assume uma forma de equilíbrio hidrostático (quase redonda), e (c) limpou a vizinhança em torno de sua órbita (Margot, 2015).

Suas órbitas são elípticas (quase circulares) e se situam dentro do plano equatorial do Sol, exceto Mercúrio e o planeta anão Plutão. Revolucionam em torno do Sol seguindo o mesmo sentido de rotação do Sol, praticamente todos os planetas giram no mesmo sentido, com exceção de Vênus e Urano. Seus eixos de rotação são quase paralelos ao do Sol, com exceção de Vênus, Urano e o planeta anão Plutão.

Os planetas interiores (rochosos/telúricos como Mercúrio, Vênus, Terra e Marte) são sistemas densos, relativamente pequenos e ricos em metais que giram lentamente com períodos de rotação de um dia ou mais e possuem poucos satélites ou nenhum. Os planetas gigantes (exteriores/jovianos), por outro lado, são sistemas grandes, leves, ricos em hidrogênio e que frequentemente possuem muitos satélites. Diferenças sistemáticas de composição química também estão presentes e distinguem os planetas rochosos e gasosos.

Na direção de avançar as discussões, respondendo o questionamento feito previamente, sobre o nosso lugar no Universo, pretendemos sanar as dificuldades encontradas nos estudantes em compreender tais diferenças sobre os planetas. Desse modo, o tópico II aborda uma visão geral do Sistema Solar. O objetivo é que os estudantes compreendam as características do Sistema Solar, desde os primeiros estudos na antiguidade até o presente com observações por meio de grandes telescópios e explorações espaciais.

Esse tópico está fragmentado em dois momentos: (i) Concepção Teórica e (ii) Mão na Massa. O detalhamento dos recursos deste tópico temático, também está disponível no Produto Educacional - Oficina Pedagógica.

i) Concepção Teórica: é um estudo da estrutura do Sistema Solar, das órbitas dos planetas, revolução em torno do Sol, eixos de rotação, satélites, planetas interiores e exteriores, composição química, estrutura e distância. Neste momento, os estudantes devem compreender os conceitos associados de modo a auxiliar as atividades presentes na Oficina Pedagógica realizada por meio de 'infográficos' (Figura 18), ou seja, painéis empregados para transmitir as informações e conduzir os estudantes a uma melhor compreensão dos conceitos usados.

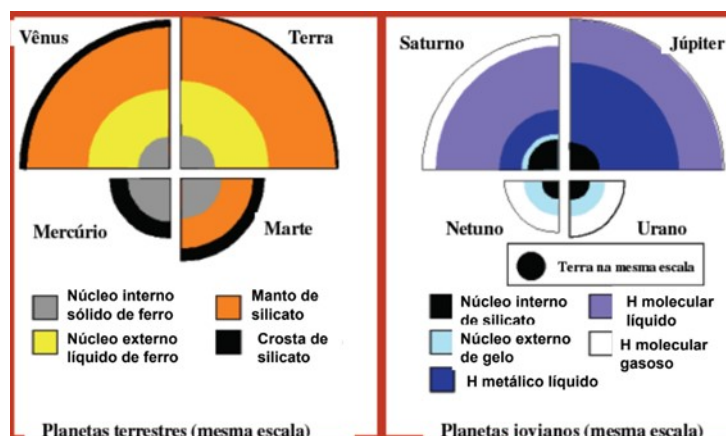
Figura 18 – Infográfico da estrutura do planeta Mercúrio. Sugestão de modelo do momento concepção teórica no tópico temático II.



Fonte: De autoria própria.

(ii) Mão na Massa: Essa atividade facilita a compreensão dos estudantes e a prática do que eles aprenderam na concepção teórica, visando o ensino dos conceitos sobre a estrutura dos planetas do Sistema Solar. Contribui também com as atividades desenvolvidas pelo professor em sala de aula, pois ajuda na fixação dos conceitos presentes nos infográficos e de como aplicá-los na montagem de modelos 2D e 3D, proporcionando, dessa maneira, ricas discussões sobre as camadas e composição dos astros do Sistema Solar, incentivando o envolvimento na Oficina Pedagógica. As Figuras 19 e 20 mostram sugestões de exemplos para os modelos em 2D e 3D das estruturas dos planetas e do Sol.

Figura 19 – Modelo de estrutura dos planetas em 2D. Sugestão de modelo do momento mão na massa, no tópico temático II.



Fonte: De autoria própria.

Figura 20 – Modelo de estrutura do planeta Júpiter em 3D. Sugestão de modelo do momento mão na massa, tópico temático II.



Fonte: De autoria própria.

O propósito do desenvolvimento das metodologias deste tópico temático é que o professor possa perceber um resultado proveitoso no que diz respeito aos conceitos das estruturas dos planetas do Sistema Solar. Desenvolver tais conceitos com atividades práticas que despertem o interesse e a curiosidade dos estudantes, além de ser um aliado aos professores que tem dificuldades na abordagem do tema. Ainda, permite colocar os alunos no centro do processo de aprendizagem, em um ambiente prático e experimental, onde eles possam compreender e principalmente visualizar alguns conceitos teóricos vistos no decorrer desse processo.

7.1.3 Tópico Temático III: Pensadores e Astronomia Grega

Apesar de diversas civilizações terem auxiliado com o progresso científico, o desenvolvimento do método científico de investigação, a preocupação por uma ciência experimental e observacional aos fenômenos da natureza foram alcançadas pelos antigos gregos.

No geral, é possível afirmar que o desenvolvimento inicial da Astronomia estava associada com questões práticas como o trabalho da agricultura, da construção de templos e para marcar datas de rituais religiosos relacionados em muitos casos com mitos cosmológicos, entre outros (VELÁSQUEZ-TORIBIO; OLIVEIRA, 2018).

Então, no século IV a.C., os filósofos gregos, observadores da natureza, apresentaram um problema de ordem geral, pautado nas variações cíclicas observadas nos objetos celestes. Como explicá-las sem a intervenção divina, mas baseada em princípios científicos?

Este particular fato, ou seja, a procura de hipóteses para os fenômenos naturais sem a presença de deuses ou de outros seres místicos, representa o principal diferencial observado entre os gregos e as outras civilizações contemporâneas. Portanto, os primeiros passos para o início da ciência moderna estava sendo dada. Em torno dos séculos V e IV a.C. os gregos tinham importantes conhecimentos astronômicos, por exemplo, conheciam que o Sol se deslocava seguindo uma faixa conhecida como eclíptica (VELÁSQUEZ-TORIBIO; OLIVEIRA, 2018).

Propomos para este tópico temático falarmos sobre os pensadores gregos e sua participação na Astronomia, um recorte de contribuições dadas a ciência astronômica, passando por Thales de Mileto (c. 624-546 a.C.) à Cláudio Ptolomeu (100-170 d.C.). O objetivo é aproximar os estudantes a fatos que foram importantes para o desenvolvimento da Astronomia que muitas vezes é visto como distante, estabelecendo conexões que estimule e facilite o processo de desenvolvimento da temática da Oficina.

Inicialmente, deve ser feita uma revisão histórica para que os estudantes se familiarizem sobre os períodos históricos de cada pensador. Pesquisas na biblioteca ou na internet também podem ser utilizadas para melhor compreensão. A atividade final corresponde na montagem de uma linha do tempo histórica, onde os estudantes explorem o universo de grandes pensadores.

Algumas estratégias que podem ser empregadas para criar uma linha do tempo em sala de aula: (i) Dependendo da disponibilidade do espaço da sala de aula, podem ser organizadas exposições em um varal, um flanelógrafo ou uma base de papercraft. As tecnologias podem auxiliar esse trabalho de construção; (ii) Criar cartazes, figuras, fotos ou desenhos com os nomes e as figuras dos pensadores; (iii) Organizar os pensadores dentro da linha do tempo, indicando as datas de nascimento, morte e contribuição de cada um para a Astronomia.

Sugestões: Podem ser realizadas outras atividades, como jogos, textos teatrais e histórias em quadrinhos.

7.1.4 Tópico Temático IV: Problema de Platão.

Diferente das formulações cosmológica dos filósofos da natureza, Platão se dedicou a uma investigação sobre a totalidade geral cósmica, origem e interação dos elementos que constituíam. Para Platão, o princípio do Universo advém da bondade divina, e concepções de coisas perfeitas, eternas e imutáveis.

Platão lançou o seguinte problema aos seus discípulos: Que movimentos circulares

e uniformes devem ser tomados como hipótese para salvar os movimentos fenomênicos das estrelas errantes?

Para contribuir com informações que ratifiquem a real importância deste problema astronômico na História da Ciência, cujo debate científico perdurou por quase dois mil anos, a proposta é que este tópico temático seja uma abordagem ao problema de Platão e sua formulação cosmológica, sucessos e limitações do modelo geocêntrico, assim como a proposta alternativa de Aristarco de Samos com o centro no Sol para explicar os movimentos dos planetas.

Assim como os tópicos temáticos anteriores, a leitura e discussão do artigo histórico em sala de aula é fundamental para alcançar os objetivos da temática desta Oficina Pedagógica. A atividade prática será materializar, no sistema Heliocêntrico, as Órbitas dos Planetas do Sistema Solar.

Assim como o planeta Terra, os demais planetas (de Mercúrio à Netuno) também revolucionam em torno do Sol, percorrendo órbitas elípticas com velocidades diferentes que depende da distância a que se encontram do Sol. O planeta Mercúrio é o mais interno e revoluciona muito rápido em torno de sua órbita mais excêntrica. Netuno, o planeta mais externo, desloca-se bem mais devagar. O planeta anão Plutão, como um representante dos TNO (Trans-Neptunian Object), ou seja, os objetos situados além da órbita de Netuno (Transnetunianos), também será representado nesta atividade prática. Neste caso, o ano em Plutão corresponde a 248 anos terrestres.

Para materializar as órbitas e descrever os movimentos relativos entre si, são necessários os seguintes materiais de baixo custo, de fácil acesso para o(a) professor (a): 1 folha de cartolina e 1 folha de isopor no mesmo tamanho. Compasso, canetas coloridas (ou lápis de cor), bolinhas de isopor e palitos de dente. Percorrer os seguintes passos:

i) As órbitas de cada objeto (a partir das respectivas excentricidades) serão calculadas e desenhadas na cartolina, que estará fixa na folha de isopor (base).

ii) Em cada órbita, será marcado com pontos os meses que o planeta (e o planeta anão) leva para percorrê-la, de acordo com a Tabela 10. Ex.: Mercúrio, 3 pontos.

Tabela 10 – Duração das órbitas aproximadas, em meses, dos planetas (e do planeta anão Plutão) em relação a Terra.

Objetos	Meses	Objetos	Meses
Mécurio	3	Júpiter	142
Vênus	7	Saturno	354
Terra	12	Urano	1008
Marte	23	Netuno	1978
		Plutão	2976

Fonte: The Astronomical Almanac (2023).

iii) Represente cada objeto (planeta e planeta anão) através de uma bolinha fixa em um palito de dente (palito-bola), caracterizando com a cor mais representativa.

iv) Fixe cada “palito-bola” em um ponto marcado ao longo da órbita. Procure alinhar os objetos neste primeiro momento, do mais interno (Mercúrio) ao planeta anão (Plutão). Assim como mostra a Figura 21.

v) Movimente cada um no sentido anti-horário, até que todos os “palitos-bola” tenham andado doze pontos (em relação ao ano terrestre = 12 meses).

Com essa atividade também é possível levantar os seguintes questionamentos com os estudantes: 1) Quais objetos realizaram mais de um volta orbital? 2) Qual fez apenas uma? 3) Qual é o mais rápido? 4) Como podemos explicar o movimento retrógrado a partir de um observador situado na Terra?

Figura 21 – Materialização, no sistema Heliocêntrico, das Órbitas dos Planetas do Sistema Solar.



Fonte: De autoria própria.

7.1.5 Tópico Temático V: As Contribuições de Tycho, Kepler e Galileu Galilei.

As observacionais foram essenciais para elaboração de teorias do movimento planetário nos séculos XVI e XVII. Segundo Tossato (2022), é inegável a importância dos dados precisos de Tycho Brahe (realizados com quadrantes e sextantes) para o avanço no entendimento do movimento planetário e a solução final em forma de leis apresentadas por Johannes Kepler.

Considerado por muitos o pai da ciência moderna, em uma época que a Física de Aristóteles era considerada verdadeira e definitiva, Galileu Galilei provocou grande revolução científica ao defender que o resultado dos experimentos deveria prevalecer, pois legitimava a função central no ato de fazer ciência. No início de século XVII, o sistema de mundo ainda era baseada na Filosofia de Aristóteles; os sistemas geocêntricos de Ptolomeu e Aristóteles eram dominantes na Filosofia e na Igreja. O modelo de Copérnico já existia, porém pouco conhecido na época.

Em 1609, Galileu construiu sua luneta realizou grandes descobertas: constatou que a Lua não tinha uma superfície regular e desenhou com detalhes as crateras da Lua; testemunhou a existência de quatro satélites em Júpiter; observou os anéis de Saturno, fases do planeta Vênus e a presença de manchas no Sol. Essas observações causaram fortes golpes na Filosofia aristotélica, na qual era defendido que os corpos celestes deveriam ser perfeitos e imutáveis e que a Terra era o centro no Universo com todos os corpos celestes girando ao seu redor.

A proposta deste Tópico é iniciar o estudo sobre as contribuições científicas de Tycho Brahe, Kepler e Galileu, promovendo uma reflexão e leitura crítica sobre o estudo do movimento planetário. Neste momento, a exibição dos vídeos (1 - Diálogo sobre os dois Principais Sistemas do Mundo: Ptolomeu, Copérnico e Galileu; 2 - A vida de Hipatia) serão fundamentais e permitirão abordar as seguintes questões:

O início do vídeo relata um dos principais personagens da filosofia medieval, Giordano Bruno (1548-1600), queimado vivo por criticar e negar vários aspectos sustentados pela Igreja Católica na Idade Média. O que pesou contra Giordano Bruno que incomodou tanto a Igreja a ponto de ser julgado pela inquisição e sumariamente condenado à morte?

As observações de Galileu apresentaram-se como um forte golpe aos defensores do geocentrismo. Quais argumentos podem ser usados para retirar a Terra da condição de centro do Universo? Quais as circunstâncias parecem ter contribuído para Galileu ter sido julgado pela Inquisição?

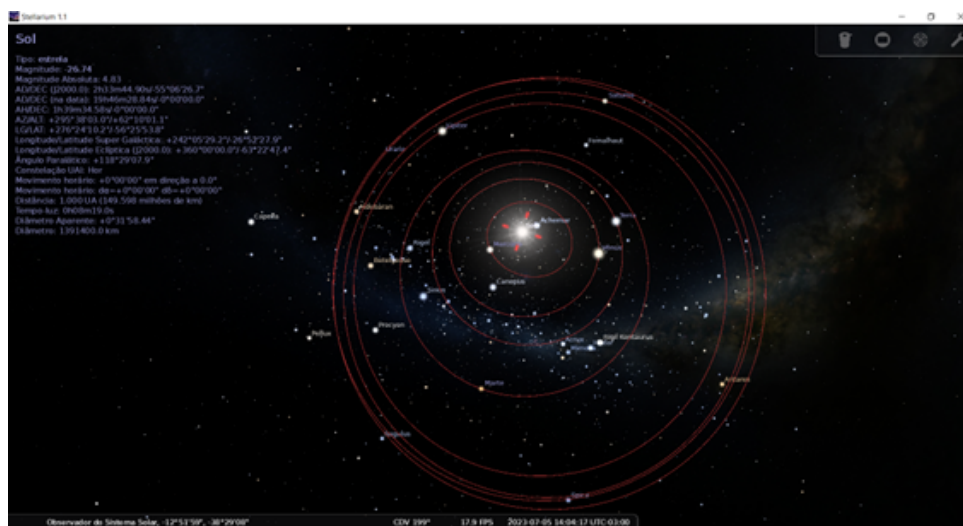
7.1.6 Tópico Temático VI: Uso de Tecnologias: Stellarium.

O Stellarium (<https://stellarium.org/pt/>) é uma poderosa ferramenta (um planetário de código aberto) que permite visualizar o céu de forma realista em três dimensões, similar a uma observação a olho nu, com binóculos ou telescópio.

O emprego do softwares facilita a compreensão da Esfera Celeste em várias situações, permitindo que o estudante a conheça e identifique os astros e os movimentos que realizam no céu. Com o avanço tecnológico atual, é possível enriquecer os métodos de ensino por meio de ferramentas que proporcione ao estudante uma aprendizagem facilitada e prazerosa.

O software Stellarium possui uma ferramenta que permite configurar o programa para mostrar o céu, em épocas diferentes, a partir do ponto da sua localização geográfica na superfície do planeta, ou do ponto de vista fora do planeta e do Sistema Solar, Figura 22. É possível aumentar a velocidade da passagem do tempo e verificar o movimento aparente dos astros ao longo de grandes períodos.

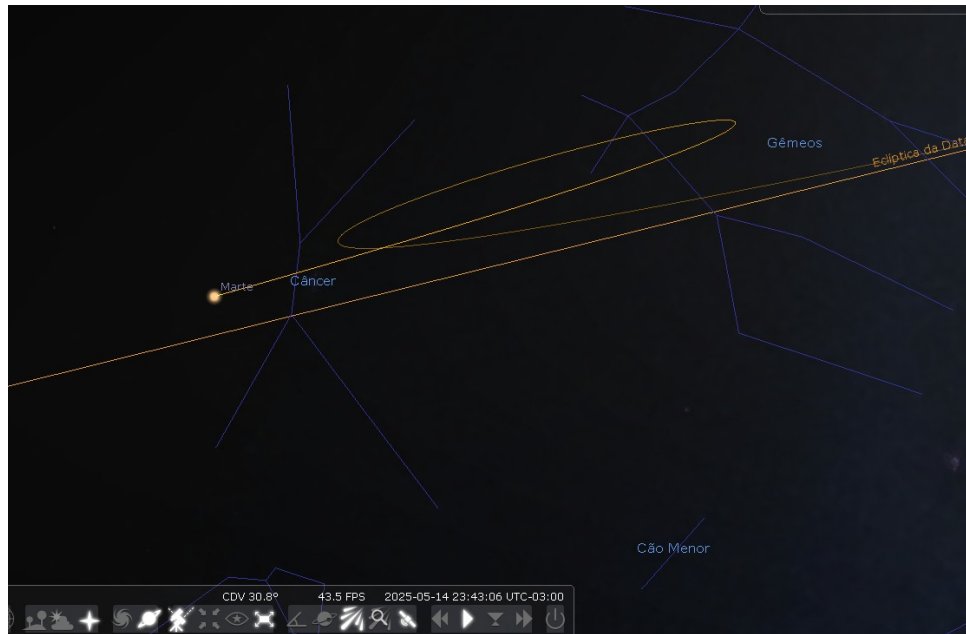
Figura 22 – As órbitas dos planetas (em vermelho) para um observador situado fora do Sistema Solar.



Fonte: Software Stellarium

A atividade principal é ilustrar o movimento retrógrado do planeta Marte, Figura 23, atividade esta que não seria possível de ser planejada em uma atividade de sala de aula. Um guia básico pode ser obtido no seguinte link: <https://astro.ufes.br/sites/default/files/TC%201%20-%20Stellarium.pdf>

Figura 23 – Movimento retrógrado de Marte observado no Stellarium para o ano de 2025.



Fonte: Software Stellarium.

Durante o uso do aplicativo, o(a) professor(a) pode debater com os estudantes os seguintes pontos:

O número de “laços” no céu é o mesmo para todos os planetas?

A que fato podemos associar esse movimento retrógrado e laços dos planetas?

Se fossemos construir um modelo de Universo, como faríamos a distribuição dos planetas com respeito a observação realizada aqui da Terra?

7.2 Avaliação Geral

A construção da proposta de Oficina Pedagógica aqui apresentada teve como objetivo provocar o interesse dos estudantes na construção do conhecimento científico, motivando a formação e participação ativa no processo de ensino-aprendizagem. As oficinas são um espaço reflexivo de ação pedagógica integradora, que estimula ao diálogo produtivo, priorizando a participação coletiva dos mesmos.

A dificuldade do processo de ensino é um problema visto em diversas áreas do conhecimento e estão relacionados com diversos fatores, como a falta capacitação dos professores, um ambiente adequado para a experimentação científica, infraestrutura computacional, etc. De acordo com Dias e Rita (2008): “Os alunos desconhecem conteúdos básicos que deveriam ser trabalhados desde o ensino fundamental, porém, devido principalmente à precariedade de professores aptos para ministrar esses conteúdos, os alunos

trazem esta deficiência até a série final do ensino médio”.

Independentemente do desafio, quando maior a construção de estratégias que promovam o fomento de educação científica, indo além do conceitual, melhor são as possibilidades de formação para os estudantes. Nesse sentido, as Oficinas são um espaço-tempo para a aprendizagem científica, onde a dinâmica permite a construção do conhecimento teórico e sua aplicabilidade, permitindo a integração teoria-prática. Uma ação que contribui para a melhoria do processo de aprendizagem, espaço favorável para discussões, além a interação aluno-professor.

[...] A necessidade de divulgação das realizações científicas para reafirmação do papel da ciência para o desenvolvimento do país nos seus mais variados aspectos, conscientes dos limites e dos riscos da tecnocracia, bem como, para informar e contribuir para a formação humana que em sua complexidade incluía formação científica também fora dos espaços escolares formais (VIEIRA, 2021).

Cada escola possui realidades diferentes e é fundamental que o professor faça um alinhamento das estratégias da intervenção proposta, organizando as etapas e matérias de acordo com a realidade da instituição, garantindo um espaço de diálogo e participação, alcançando os objetivos apresentados na proposta. Propostas de intervenção que estimule a formação científica, motive a superar os desafios, favorece tanto os professores quanto os estudantes e toda a comunidade escolar. Diversificar as metodologias trabalhadas em sala de aula, desenvolver atividades que propicie a troca de experiências e conhecimentos, tornam as aulas mais instigante e atrativas, enriquecendo a formação dos estudantes. Neste sentido, a proposição de uma Oficina Pedagógica serve como uma alternativa diversificada para o desenvolvimento de habilidades e criatividade dos estudantes.

7.3 Sobre o Artigo Científico

Ao longo deste texto dissertativo, abordamos que as primeiras tentativas sistemáticas de que sem tem notícias visando reunir conhecimentos a respeito do movimento como forma de compreender os fenômenos naturais foram realizadas na Grécia Antiga.

O artigo foi construído em uma linha histórica que inicia-se, portanto, com as discussões a respeito da procura de hipóteses para explicar os fenômenos naturais observados no céu noturno. De certo modo, embora ainda incipiente nas escolas, os artigos já vêm sendo utilizados pelos(as) professores(as) como um apoio complementar ao livro didático, onde o principal objetivo é apresentar e discutir ideias, métodos, técnicas, processos e resultados sobre as mais diversas áreas do conhecimento que não são tratados nos livros ou explorados na sala de aula.

Em particular, como abordado no levantamento realizado na Fundamentação Teórica (Capítulo 5), os livros relacionados não trazem os elementos históricos necessários para contextualizar a evolução das ideias sobre os movimentos dos planetas no céu. Muitos apresentam diretamente os sistemas Geocêntrico e Heliocêntrico como algo que surge a partir de um ‘estalar dos dedos’. Os avanços do conhecimento astronômico a partir das antigas civilizações até os dias de hoje, com as devidas ênfase aos aspectos históricos, filosóficos e epistemológicos (do conhecimento científico) em que eles ocorreram, são fundamentais no processo de formação dos estudantes e não podem ficar alheios. O(a) professor(a), que certamente vivenciou a interação com esse tipo de leitura científica, deve ter essa perspectiva na sua prática do dia a dia.

Do exposto, foi nesse contexto que apresentamos o artigo como um PTE (Produto Técnico Educacional) adicional, no qual recupera e aborda com o devido enfoque os aspectos delineados no parágrafo anterior. Obviamente, o artigo ora proposto não está totalmente completo, mas podemos avaliar que o mesmo já é suficientemente útil para uma atividade complementar em sala de aula, sobretudo, se tomarmos a perspectiva de ajudar os estudantes a ampliarem o conhecimento do mundo físico, concentrando-os nas ideias que melhor caracterizam a Astronomia enquanto ciência, em vez de centrá-los em pedaços isolados de informação, como a grande maioria dos livros didáticos ancorados na BNCC fazem. Ainda, permite um importante ensaio na escrita científica, de grande importância nessa fase da formação acadêmica pós-graduada.

Finalmente, o artigo também procura revelar aos estudantes a ciência astronômica como uma maravilhosa atividade de estudo e pesquisa científica, onde o enredo foi escrito a partir das contribuições de diferentes personagens, homens e mulheres. Na verdade, esse aspecto implica em apresentar a temática do movimento planetário dentro de uma perspectiva cultural e histórica.

7.4 Atividade Prática baseada no aplicativo

“Simulador de Órbitas Planetárias do NAAP

Historicamente, a principal tarefa foi explicar e prever os movimentos dos planetas e dos respectivos satélites naturais na Esfera Celeste. Modelos empíricos, como os epiciclos de Ptolomeu (85-165 d.C.) e as leis de Kepler (1571-1630) foram propostos para descrever os movimentos observados, mas nenhum dos modelos explicava porque os planetas se moviam daquela maneira. A resposta concisa veio posteriormente com o trabalho da gravitação universal com Isaac Newton (1643-1727).

Em sala de aula a sistematização de leis e teorias ocorre na área de Ciências da Natureza, elaborar, interpretar e aplicar modelos explicativos para fenômenos são aspectos do fazer científico, portanto, é na etapa do Ensino Médio que o estudante desenvolve

o pensamento científico envolvendo aprendizagens específicas, fortalecendo conceitos e conhecimentos desenvolvidos na etapa do Ensino Fundamental.

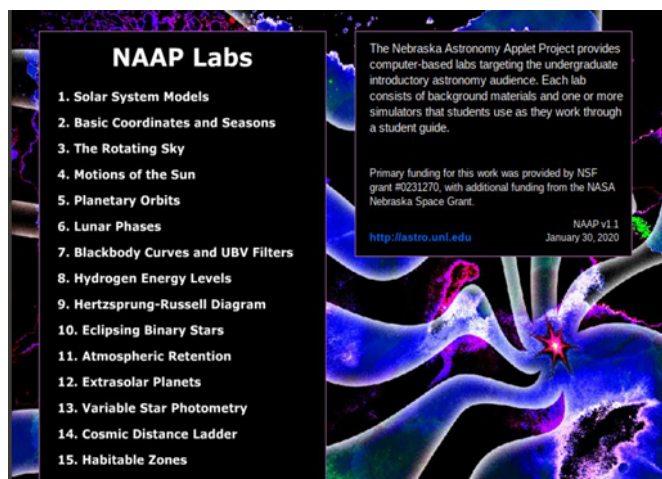
Conforme com a BNCC (2018) “a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina”, onde as diferentes áreas do conhecimento deve agirem em articulação, possibilitando os estudantes “compreender e utilizar os conceitos e teorias que compõem a base do conhecimento científico-tecnológico, bem como os procedimentos metodológicos e suas lógicas”(BRASIL, 2018), esses aspectos pertence as finalidades do Ensino Médio.

A interação dos estudantes com atividades práticas atua como facilitador da aprendizagem teórica, promovendo interesse pelas áreas da Ciências. Experimentação, estudo do meio, aulas de laboratórios, aulas de campo, observações são exemplos de atividades práticas que auxiliam para construção de conceitos científicos. Destacamos entre as habilidades da Bncc (2018):

(EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).

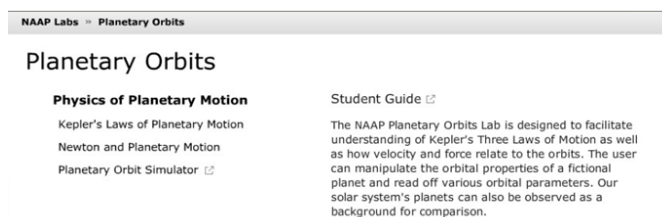
Atividades experimentais por meio de software de simulação estão no contexto de ensino-aprendizagem, esta atividade baseada no projeto NAAP, desenvolve a compreensão das três leis de Kepler para o movimento planetário, incluindo a interpretação de aspectos cinemáticos e dinâmicos nas órbitas, extrair parâmetros orbitais diversos, por meio da manipulação das propriedades orbitais de um planeta fictício e comparação de planetas do Sistema Solar. O Simulador de Órbitas Planetárias é parte integrante do aplicativo “NAAP Labs”, disponível no Google Classroom para Download.

Figura 24 – Layout do NAAP Labs com os vários aplicativos disponíveis.



Fonte: NAAP Labs

Figura 25 – Janela com os links de acesso e um sumário da descrição para a atividade de Órbitas Planetárias.



NAAP Labs » Planetary Orbits

Planetary Orbits

Physics of Planetary Motion

- Kepler's Laws of Planetary Motion
- Newton and Planetary Motion
- Planetary Orbit Simulator

Student Guide

The NAAP Planetary Orbits Lab is designed to facilitate understanding of Kepler's Three Laws of Motion as well as how velocity and force relate to the orbits. The user can manipulate the orbital properties of a fictional planet and read off various orbital parameters. Our solar system's planets can also be observed as a background for comparison.

Fonte: NAAP Labs

A atividade prática no simulador apresenta uma contextualização das Leis de Kepler e Newton relativas ao movimento planetário, e propostas de problemas na forma de experimentos a serem realizados no software, permitindo que os estudantes realizem observações e classificações. Facilitando a assimilação dos conteúdos referentes ao movimento planetário, um conceito repleto de riquezas históricas, esta atividade estreita o diálogo entre os estudantes e o conhecimento científico, questiona-os a tornarem-se criativos transformando a aprendizagem das teorias significativas, envolvendo-os em todas as fases da sua aplicação.

8 Considerações Finais

Hoje em dia, fazer Ciência nas Escolas representa um grande desafio. Infelizmente, na grande maioria destas, as infraestruturas necessárias para as atividades práticas, como laboratórios, biblioteca e informática (computadores com internet) não estão presentes, ocasionando, para os estudantes, sérias consequências nos anos finais de estudo, onde estes deveriam aprofundar os conhecimentos adquiridos no ciclo anterior para iniciar os estudos das matérias que serão a base para a continuidade no Ensino Médio.

O MEC, Ministério da Educação, por outro lado, preconiza que todos os estudantes da Educação Básica devem passar mais tempo na Escola, de modo que os mesmos tenham mais oportunidades par ler, escrever e aprender, ou seja, de ter um ensino de qualidade. Mas, quando confrontado com a realidade apresentada anteriormente sobre as Escolas, em termos de infraestrutura para a Ciência, fica revelado o grande desafio que ora conhecemos e que precisamos resolver de modo participativo.

A presente Dissertação de Mestrado aborda o problema do movimento retrógrado dos planetas, apresentado pelo filósofo grego Platão no século IV a.C., um tema pouco explorado nos livros didáticos como visto ao longo deste texto. Portanto, esperamos por meio dos PTE (Produto Técnico Educacional) apresentados, mostrar o valor do problema aqui tratado que perdurou por quase dois mil anos e que culminou nos dois sistema de mundo, Geocêntrico e Heliocêntrico.

Os PTE propostos objetivam oferecer ao professor(a) um material histórico que resgate a importância do tema e que revele para o(a) estudante a evolução do pensamento científico ao longo de diferentes momentos da História da Astronomia (linha de pesquisa escolhida). O material final visa estimular o interesse científico e contribuir para um melhor aprendizado dos estudantes a partir de um diálogo entre teoria e experimentação (observação). Ainda, também objetiva contribuir com o uso de procedimentos apropriados capazes de tornar perceptíveis as relações existentes entre os variados aspectos científicos que culminam no estabelecimento dos dois sistemas de mundo, aproximando o(a) estudante da importância histórica das teorias para a evolução científica da Astronomia, sendo indispensável na compreensão acerca do seu contexto histórico.

Observar e analisar o mundo que nos cerca, fazer perguntas, delinear e planejar problemas, fazer investigações e propor hipóteses, são aspectos construídos a cada fase do ensino escolar e precisam ser provocados continuamente com a perspectiva de induzir um maior protagonismo aos estudantes. Desse modo, o aperfeiçoamento do conhecimento

escolar ao vivenciarem os conteúdos de Astronomia dentro de uma percepção histórica-filosófica-emistemológica, revela para os(as) mesmos(as) um processo rico de descoberta, investigação, demonstração, verificação e comprovação de resultados, onde vários fatos e acontecimentos são fundamentais para descrever o longo caminhar da humanidade e da Ciência, sendo esta uma das contribuições deste trabalho dissertativo.

No entanto, alguns pontos cruciais como a própria formação dos(as) professores(as) para explorar tais aspectos em sala de aula, o livro didático muitas vezes como o único instrumento de ensino, alguns com ausências ou incoerências históricas e conceituais, e a carga horária disponível (sobretudo na rede rede pública de ensino), representam fortes limitadores para um processo de formação crítica e contextualizada em sala de aula.

De fato, a tarefa não é nada simples e cabe observar que a construção e implementação de estratégias metodológicas inovadoras que promovam mudanças na escola devem romper com as tradicionais práticas de ensino ainda desenvolvidas. Por exemplo, é preciso dar mais ênfase na aprendizagem ativa (interativa e colaborativa), de induzir um maior protagonismo do(a) estudante em sala de aula e, sobretudo, de planejar atividades, tipicamente não teóricas, destinadas a verificar, testar ou visualizar um conceito científico. A Astronomia, a partir de uma visão interdisciplinar, é uma das ciências que pode contribuir em certo grau para esse processo de transformação.

Finalmente, esperamos que o material aqui produzido possa, pelo menos, incentivar professore(as) e estudantes para novas percepções e descobertas, transformando-os(as) em seres ativos(as) e dinâmicos(as) do processo de ensino, direcionando para uma atitude de autocrítica, com potencial de pensar, refletir, indagar, criticar e de viver.

Referências

- ALAM, S. et al. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 2015. IOP Publishing, v. 219, n. 1, p. 12, 2015. Citado na página 17.
- ANGIONI, L. *Aristóteles. Física I-II*. [S.l.]: Editora Unicamp, 2010. Citado na página 55.
- ASTRONOMY SPACE SCIENCES, G. S. N. Data for; OFFICE UNITED KINGDOM HYDROGRAPHIC OFFICE, A. W. T. S. T. D. other Applications. United Kingdom: Her Majesty's Nautical Almanac. *The Astronomical Almanac For the Year 2022....* [S.l.]: US Government Printing Office, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 62.
- ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. *Princípios de Química-: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente*. [S.l.]: Bookman Editora, 2018. Citado na página 29.
- BARBOSA, L. *História da Ciência*. [S.l.]: CNPq, Instituto Brasileiro de Bibliografia e Documentação, Rio de Janeiro, 1063. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 74.
- BLAIR, A. Tycho brahe's critique of copernicus and the copernican system. *Journal of the History of Ideas*, 1990. v. 51, n. 3, p. 355–377, 1990. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- BOCZKO, R. Conceitos de astronomia. *São Paulo: Edgard Blucher*, 1984. v. 1, p. 258, 1984. Citado na página 63.
- BRASIL. Parâmetros curriculares nacionais: terceiro e quarto ciclos: Matemática. *Brasília: MECSEF*, 1998. n. 40, 1998. Citado na página 68.
- BRASIL, M. d. E. Base nacional comum curricular. *Brasília, 2018*, 2018. Brasília: MEC, 2018. Acesso em: 18.09.2021. Citado 4 vezes nas páginas 65, 68, 72 e 94.
- COHEN S.M., C. P. R. C. *Readings in Ancient Greek Philosophy From Thales to Aristotle*. [S.l.]: Hackett Publishing Company, Inc. Indianapolis/Cambridge., 2011. Citado 4 vezes nas páginas 24, 34, 50 e 74.
- COLLINSON, D. *50 Grandes Filósofos da Grécia Antiga ao Século XX. Tradução do original "Fifty Major Philophers" por Maurício Waldman e Bia Costa*. [S.l.]: Editora Contexto, 2004. Citado 3 vezes nas páginas 24, 30 e 74.
- COUPRIER, D. *Heaven and Earth in the Ancient Greek Cosmology: From Thales to Heraclides Ponticus*. [S.l.]: Springer Science and Business Media, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 24, 35 e 74.
- DAMASIO, F. O início da revolução científica: questões acerca de copérnico e os epiciclos, kepler e as órbitas elípticas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 2011. SciELO Brasil, v. 33, p. 360–2, 2011. Citado na página 19.

- DIAS, C. A. C.; RITA, J. R. S. Inserção da astronomia como disciplina curricular do ensino médio. *Revista Latino-americana de educação em astronomia*, 2008. n. 6, p. 55–65, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 76 e 91.
- DICATI, R. *Stamping Through Astronomy*. [S.l.]: Springer Science and Business Media, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 74.
- DREYER, J. *A History of Astronomy from Thales to Kepler*. [S.l.]: Dover Publications, INC., New York (Revised in 2011 with a Foreword by W.H. Stahl), 1953. Citado 3 vezes nas páginas 18, 24 e 74.
- FACHIN, O. *Fundamentos de metodologias*. [S.l.]: Saraiva Educação SA, 2001. 181 p. Citado na página 68.
- FILHO, K. de S. O.; SARAIVA, M. d. F. O. *Astronomia e astrofísica. Rio Grande do Sul: Livraria da Física*, 2004. 2004. Citado na página 17.
- FONSECA, J. J. S. da. *Apostila de metodologia da pesquisa científica*. [S.l.]: João José Saraiva da Fonseca, 2002. 32 p. Citado na página 74.
- FREIRE, A. *As observacoes Astronomicas de Galileu e a sua Inserção no Ensino de Física*. [S.l.]: Dissertação de Mestrado - MPASTRO-UEFS. Orientador: Prof. Dr. Marildo Geraldete Pereira, 2021. 1-196 p. Citado na página 62.
- Gaia Collaboration et al. Gaia Early Data Release 3. Summary of the contents and survey properties. , 2021. v. 649, p. A1, maio 2021. Citado na página 39.
- GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*; (5ª edição), são paulo. *Editora Atlas*, 1999. 1999. Citado na página 74.
- GIL, A. C. et al. *Como elaborar projetos de pesquisa*. [S.l.]: Atlas São Paulo, 2002. Citado na página 75.
- GUIZZARDI, G. *Ontological Foundations for Structural Conceptual Models*. Tese (Doutorado) — Centre for Telematics and Information Technology, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 2005. Disponível em: <<http://www.loa.istc.cnr.it/Guizzardi/SELMAS-CR.pdf>>. Acesso em: 3.7.2011. Citado na página 17.
- GUTHRIE, W. *A History of Greek Philosophy*. [S.l.]: Cambridge: Cambridge University Press, 6. vols., 1962–1981. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 74.
- GUTHRIE, W. *A History of Greek Philosophy, 6 vols*. [S.l.]: Cambridge: Cambridge University Press, 1981. Citado na página 28.
- HEATH, T. *Greek Astronomy*. [S.l.]: Dover Publications, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 74.
- HOLTON, G.; RUTHERFORD, F. J.; WATSON, F. G. *Project physics text*. 1981. Holt Rinehart and Winston, 1981. Citado na página 46.
- HOSKIN, M. *The Cambridge Concise History of Astronomy*. [S.l.]: Cambridge, Cambridge University Press, 1999. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 74.

- ITOKAZU, A. G. 1609: da astronomia tradicional ao nascimento da astrofísica. *Ciência e Cultura*, 2009. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, v. 61, n. 4, p. 42–45, 2009. Citado na página 17.
- KAHN, C. *Anaximander and the Origins of Greek Cosmology*. [S.l.]: New York: Columbia University Press, 1960. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 74.
- KANAS, N. *Star Maps: History, Artistry, and Cartography*. [S.l.]: Springer Science and Business Media, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 74.
- KEPLER, J. *Harmonies Of The World*. [S.l.]: eBook. Bhoomi Digital Apps. ISBN: 1230001717167, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 53 e 55.
- LAJOLO, M. Livro didático: um (quase) manual de usuário. *Em aberto*, 1996. v. 16, n. 69, 1996. Citado na página 69.
- LANGHI, R.; NARDI, R. Formação de professores e seus saberes disciplinares em astronomia essencial nos anos iniciais do ensino fundamental. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 2010. SciELO Brasil, v. 12, p. 205–224, 2010. Citado na página 18.
- LAÊRTIOS, D. *Vida e Doutrinas dos Filósofos Ilustres. Tradução do grego, introdução e notas de Mário da Gama Kury*. [S.l.]: Editora UNB, 2ª Reimpressão, 1988. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 74.
- LEAL, J. *O Ensino de Astronomia na Promoção da Alfabetização Científica*. [S.l.]: Dissertação de Mestrado - IAGUSP. Orientador: Prof. Dr. Nelson Vani Leister, 2023. 1-133 p. Citado na página 69.
- LOVE, D. K. *Kepler and the Universe. How one Man Revolutionized Astronomy*. [S.l.]: Prometheus Book, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 50 e 58.
- Margot, J.-L. A Quantitative Criterion for Defining Planets. , 2015. v. 150, n. 6, p. 185, dez. 2015. Citado na página 83.
- MAZER, A. *Shifting the Earth: The Mathematical Quest to Understand the Motion of the Universe*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 24, 34 e 74.
- MOITA, F.; ANDRADE, F. d. O saber de mão em mão: a oficina pedagógica como dispositivo para a formação docente e a construção do conhecimento na escola pública. *Reunião Anual da ANPED*, 2006. v. 29, p. 16, 2006. Citado na página 77.
- MONTEIRO, H. R. de S. et al. A importância das oficinas pedagógicas no processo de ensino-aprendizagem. *Epistemologia e Práxis Educativa-EPEduc*, 2019. v. 2, n. 2, 2019. Citado na página 77.
- MOTZ L., W. J. *The Story of Astronomy*. [S.l.]: Perseus Publishing. Cambridge, Massachusetts, 1995. Citado 3 vezes nas páginas 24, 49 e 74.
- MÜTSCHLE, M. S. *Oficinas pedagógicas: a arte e a magia do fazer na escola*. [S.l.]: Edições Loyola, 1992. Citado na página 77.
- PANNEKOEK, A. *A History of Astronomy*. [S.l.]: Cambridge: Cambridge University Press, 6 vols., 1962-1981., 1960. Citado 3 vezes nas páginas 24, 49 e 74.

- PEREZ, D. G. et al. Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 1983. 1983. Citado na página 77.
- PIAGET, J. O nascimento da inteligência na criança. *mental*, 1986. v. 258, p. 259, 1986. Citado na página 76.
- PILETTI, C. (org.) didática especia. *São Paulo: Ática S.A*, 1988. v. 6, 1988. Citado na página 76.
- PITOMBO, M. I. M. *Conhecimento, valor e educação em John Dewey*. [S.l.]: Pioneira, 1974. Citado na página 65.
- PLATÃO, A. República, trad. *Maria Helena da Rocha Pereira*, 2001. v. 4, p. 42–66, 2001. Citado na página 20.
- QUEIROZ L.C.; PAIVA, M. A. Questões para ensinar e aprender: compreensão e produção de texto para a educação básica. in: Ribeiro, m.m.g.; ferreira, m.s. (*Org.*). *Natal: EDUFRN*, 2001. n. 15-3, 2001. Citado na página 77.
- REALE, G. *História da Filosofia Antiga*. [S.l.]: Loyola; 5ª Edição, 1993. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 74.
- ROCHA-POPPE P.C.R., F.-M. V. F.-B. G. e. a. da. Aspectos da ciência astronômica na antiga civilização egípcia. *Sitientibus Série Ciências Físicas*, 2022. v. 18, n. scf20221813, p. 15–35, 2022. Citado na página 79.
- RONAN, C. A. *The Cambridge illustrated history of the world's science*. [S.l.]: Cambridge University Press, 1984. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 66.
- ROSA, C. A. d. P. História da ciência: da antiguidade ao renascimento científico. In: *História da ciência: da antiguidade ao renascimento científico*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 100–198. Citado na página 23.
- RUTHERFORD F.J., H. G. W.-F. *The Project Physics Course: Text and Handbook, Unit 2: Motion in the Heavens*. [S.l.]: Holt Rinehart & Winston, 1970. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 40.
- SILVA, P. T. A mensagem, o mensageiro e o tradutor: a propósito da tradução portuguesa do sidereus nunciis. *SCIENTI« studia*, *São Paulo*, 2013. v. 11, n. 4, p. 937–46, 2013. Citado na página 61.
- SOUZA O.K., S. M. *Astronomia & Astrofísica*. [S.l.]: Livraria da Física, 2017. Citado na página 103.
- STOCKS, J. *Aristotle, On the Heavens*. [S.l.]: eBooks@Adelaide, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 24, 34 e 74.
- TARTUCE, T. *Métodos de pesquisa. Fortaleza: UNICE–Ensino Superior, 2006. Apostila*. 2006. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/de-rad005.pdf>>. Acesso em: 12.11.2021. Citado na página 68.

- TOSSATO, C. R. Tycho brahe e a precisão das observações astronômicas. *Intelligere*, 2022. n. 13, p. 92–112, out. 2022. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/revistaintelligere/article/view/198314>>. Acesso em: 28.03.2023. Citado na página 88.
- TRIVIÑOS, A. N. S. Introdução às ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. *São Paulo: Atlas*, 1987. 1987. Citado na página 75.
- VELÁSQUEZ-TORIBIO, A. M.; OLIVEIRA, M. V. Primeiro modelo matemático da cosmologia: as esferas concêntricas de eudoxo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 2018. SciELO Brasil, v. 41, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 85 e 86.
- VELÁSQUEZ-TORIBIO A.M., O. M. *Primeiro modelo matemático da cosmologia: as esferas concêntricas de eudoxo*. [S.l.]: RBEF, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 74.
- VERBUNT, R. H. v. G. Three editions of the star catalogue of tycho brahe. machine-readable versions and comparison with the modern hipparcos catalogue. *A&A*, 2010. v. 516, n. A28, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 51 e 52.
- VIEIRA, A. M. R. da S. Os desafios da educação científica. *Temporalidades*, 2021. v. 13, n. 2, p. 832–852, 2021. Citado na página 92.
- VILELA, E. M.; MENDES, I. J. M. Interdisciplinaridade e saúde: estudo bibliográfico. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 2003. SciELO Brasil, v. 11, p. 525–531, 2003. Citado na página 65.
- VOLQUIND, L. *Oficinas de ensino: o quê? por quê? como?* [S.l.]: EDIPUCRS, 2000. Citado na página 77.

9 Apêndices

Explorando a relação matemática, razão de proporcionalidade K , uma constante,

$$K = \frac{R_{med}^3}{T^2} \quad (1)$$

podemos chegar no valor da constante K e concluir que, aproximadamente, representa o mesmo valor para todos os planetas. Vamos considerar um modelo em que as órbitas planetárias sejam todas circulares, de tal forma que o movimento de cada planeta ao redor do Sol possa ser representado por meio de um Movimento Circular Uniforme (MCU) em um referencial em que o Sol está em repouso. Nesse caso, a força gravitacional do Sol sobre o planeta é a força centrípeta do MCU correspondente, de tal modo que podemos escrever:

$$\frac{mv^2}{R_{med}} = \frac{GmM_{\odot}}{R_{med}^2} \quad (2)$$

em que m é a massa do planeta, M_{\odot} é a massa do Sol, v é o módulo da velocidade linear do planeta e R_{med} é o raio médio da órbita (semi-eixo maior médio da elipse). Então, se o planeta leva um tempo T para dar uma volta completa ao redor do Sol, podemos escrever:

$$v = \frac{2\pi R_{med}}{T} \quad (3)$$

Substituindo v da expressão acima na Equação (4.2) e simplificando os termos, obtemos:

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM_{\odot}}\right)R_{med}^3 \quad (4)$$

na qual fornece a natureza da constante K :

$$K = \frac{4\pi^2}{GM_{\odot}} \quad (5)$$

Como conclusão, notamos porque K tem, aproximadamente, o mesmo valor para todos os planetas, pois, depende apenas da constante universal G e da massa do Sol (M_{\odot}). No entanto, um cálculo mais próximo da realidade indicaria que K depende também da massa do planeta (veja por exemplo (SOUZA O.K., 2017)).



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO *(a ser adaptado conforme a necessidade)*

PARA O(A) ALUNO(A): (ou professor caso o trabalho seja desenvolvido com os professores)

Você aluno(a) está sendo convidado(a) a participar, **como voluntário(a)**, de uma atividade de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Astronomia, Mestrado Profissional, da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS.

O título da Pesquisa é “xxxxxxxxxxx” e tem como objetivo produzir o trabalho de conclusão de curso do mestrando/pesquisador **XXXXXX**.

Os resultados desta pesquisa e imagem do(a) aluno(a), poderão ser publicados e/ou apresentados em encontros e congressos sobre Ensino e Astronomia. As informações obtidas por meio dos relatos (anotações, questionários ou entrevistas) serão confidenciais e asseguramos sigilo sobre sua identidade. Os dados serão publicados de forma que não seja possível a sua identificação.

É garantida a liberdade da retirada de consentimento a qualquer momento, bem como a participação nas atividades da pesquisa. Em caso de dúvida sobre a pesquisa você poderá entrar em contato com o pesquisador responsável.

PARA OS PAIS OU RESPONSÁVEIS:

Após ler com atenção este documento e ser esclarecido(a) de quaisquer dúvidas, caso aceite a participação da criança ou adolescente na pesquisa, preencha o parágrafo abaixo e assine ao final deste documento, que está em duas vias, uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável.

Eu, _____, responsável pelo(a) aluno(a) _____, nascido(a) em ____/____/____, autorizo a participação do(a) aluno(a) na pesquisa, e permito gratuitamente, **XXXXXX**, responsável pela pesquisa, o uso da imagem do(a) referido(a) aluno(a), em trabalhos acadêmicos e científicos, bem como autorizo o uso ético da publicação dos relatos provenientes deste trabalho. Declaro que recebi uma cópia do presente Termo de Consentimento. Por ser verdade, dato e assino em duas vias de igual teor.

_____ de _____ de 20xx

Assinatura do responsável pelo(a) aluno(a)

Contatos: Orientador(a) Responsável: **Prof^(a) Dr^(a) XXXXXXX**.

E-mails: <emails orientador(a) e discente>

Telefone: (75) 31618289.

Endereço: Av. Transnordestina, S/N. Bairro Novo Horizonte. CEP: 44036-900. Feira de Santana Bahia.

Assinaturas: _____ (Orientador(a): **Prof^(a) Dr^(a) XXXXXXX**)

_____ (Coorientador(a): **Prof^(a) Dr^(a) XXXXX**)

_____ (Discente: **Prof(a). XXXXXXX**)