



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ  
CURSO LICENCIATURA EM MATEMÁTICA

BHIANCA OLIVEIRA DOS SANTOS

**ENTRE CONSIDERAÇÕES MATEMÁTICAS E ASTRONÔMICAS:** um estudo sobre a  
simbiose entre a Matemática e a Astronomia na evolução da ciência

MACAPÁ - AP

2025

BHIANCA OLIVEIRA DOS SANTOS

**ENTRE CONSIDERAÇÕES MATEMÁTICAS E ASTRONÔMICAS:** um estudo sobre a simbiose entre a Matemática e a Astronomia na evolução da ciência

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura em Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Licenciada em Matemática.

Orientador: Prof. Me. Helington Franzotti Araujo de Souza.

MACAPÁ - AP

2025

**Biblioteca Institucional - IFAP**  
**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

---

- S237e Santos, Bhanca Oliveira dos  
Entre considerações matemáticas e astronômicas: um estudo sobre a simbiose entre a Matemática e a Astronomia na evolução da ciência / Bhanca Oliveira dos Santos - Macapá, 2025.  
127 f.: il.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Macapá, Licenciatura em Matemática, 2025.
- Orientador: Me. Helington Franzotti Souza.
1. História da Matemática. 2. História da Astronomia. 3. Matemática aplicada. I. Souza, Me. Helington Franzotti, orient. II. Título.


BHIANCA OLIVEIRA DOS SANTOS

**ENTRE CONSIDERAÇÕES MATEMÁTICAS E ASTRONÔMICAS: um estudo sobre a simbiose entre a Matemática e a Astronomia na evolução da ciência**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura em Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Licenciada em Matemática.


Orientador: Prof. Me. Helington Franzotti Araujo de Souza.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 HELINGTON FRANZOTTI ARAUJO DE SOUZA  
Data: 03/11/2025 11:16:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Me. Helington Franzotti Araujo de Souza (Orientador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente  
 CASSIO RENATO DA GLORIA PEREIRA DOS SANTOS  
Data: 03/11/2025 14:04:33-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Cassio Renato da Gloria Pereira dos Santos (Membro interno)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente  
 LARISSA MASCARENHAS COELHO  
Data: 03/11/2025 14:43:45-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof<sup>a</sup>. Esp. Larissa Mascarenhas Coelho (Membro externo)

SESI - Serviço Social da Indústria

Apresentado em: 17/07/2025

Conceito/Nota: 97,0

Dedico este trabalho à minha mãe, pelo amor e apoio incondicional.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe, Francinete Oliveira, que me apoiou e incentivou em todos os aspectos acadêmicos de minha vida, e desde o início deste curso, me ajudou a entender a importância da construção deste trabalho, especialmente nos momentos mais difíceis.

Ao professor Helington Franzotti, meu orientador, que desempenhou sua função com dedicação e me forneceu o direcionamento e a assistência necessários para concluir este trabalho.

Aos professores e colegas do Instituto Federal do Amapá, do departamento de Matemática, pelo suporte e amizade com a qual compartilharam momentos de aprendizado e companheirismo.

À instituição de ensino Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, que se fez essencial para o meu processo de formação, aprendizado e desenvolvimento profissional ao longo do curso.

Aos meus amigos e a todas as pessoas com quem convivi, que, como resultado, tiveram alguma participação significativa ou impacto positivo em meu desenvolvimento acadêmico.

"A matemática é a única linguagem que temos em comum com a natureza".

(Stephen Hawking).

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma pesquisa com uma abordagem histórica que evidencia a interdependência entre Matemática e Astronomia, destacando como essa relação foi crucial para o avanço da Ciência. O estudo contempla: uma análise histórica do desenvolvimento da Astronomia desde seus primórdios até a relação consolidada com a Matemática, com ênfase em seus principais marcos; uma apresentação de personalidades proeminentes nesse campo e suas contribuições para o avanço do conhecimento científico e o enfoque em alguns modelos matemáticos que descrevem fenômenos significativos na Astronomia. A pesquisa, de caráter bibliográfico, bem como sua proposta metodológica envolvendo a produção de uma cartilha educacional embasada no referencial teórico deste trabalho, tem a finalidade de contribuir para a divulgação do conhecimento científico e ressaltar a importância da interdisciplinaridade no contexto acadêmico. Ao aprofundar os estudos sobre a história da Ciência, espera-se incentivar o interesse dos leitores, além de fomentar uma compreensão mais abrangente e detalhada acerca da simbiose entre Matemática e Astronomia.

Palavras-chave: Matemática; Astronomia; histórico; interdisciplinaridade.

## **ABSTRACT**

This paper presents a study with a historical approach that highlights the interdependence between Mathematics and Astronomy, highlighting how this relationship was crucial for the advancement of Science. The study includes: a historical analysis of the development of Astronomy from its beginnings to its consolidated relationship with Mathematics, with emphasis on its main milestones; a presentation of prominent figures in this field and their contributions to the advancement of scientific knowledge; and a focus on some mathematical models that describe significant phenomena in Astronomy. The research, of a bibliographic nature, as well as its methodological proposal involving the production of an educational booklet based on the theoretical framework of this work, aims to contribute to the dissemination of scientific knowledge and to emphasize the importance of interdisciplinarity in the academic context. By deepening studies on the history of Science, we hope to stimulate the interest of readers, in addition to fostering a more comprehensive and detailed understanding of the symbiosis between Mathematics and Astronomy.

Keywords: Mathematics; Astronomy; history; interdisciplinarity.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Anaximandro, filósofo da escola jônica                       | 20 |
| Figura 2 - Aristóteles                                                  | 20 |
| Figura 3 - Eratóstenes e seu método para determinar o diâmetro da Terra | 21 |
| Figura 4 - Esquema geocêntrico                                          | 22 |
| Figura 5 - Cláudio Ptolomeu                                             | 23 |
| Figura 6 - Obra “Sobre as revoluções das esferas celestes”              | 24 |
| Figura 7 - Tycho Brahe                                                  | 24 |
| Figura 8 - Hipátia de Alexandria                                        | 27 |
| Figura 9 - O astrolábio                                                 | 27 |
| Figura 10 - Nicolau Copérnico                                           | 29 |
| Figura 11 - Esquema heliocêntrico                                       | 30 |
| Figura 12 - Johannes Kepler                                             | 30 |
| Figura 13- Galileu Galilei                                              | 32 |
| Figura 14 - Obra “Mensageiro das estrelas”                              | 33 |
| Figura 15 - Isaac Newton                                                | 33 |
| Figura 16 - Henrietta Swan Leavitt                                      | 35 |
| Figura 17 - Albert Einstein                                             | 37 |
| Figura 18 - Nancy Grace Roman                                           | 38 |
| Figura 19 - Vera Rubin                                                  | 40 |
| Figura 20 - Katherine Bouman                                            | 42 |
| Figura 21 - Imagem do Buraco Negro                                      | 43 |
| Figura 22 – Hiparco de Nicéia                                           | 44 |
| Figura 23 – Representação de um Eclipse Lunar                           | 45 |
| Figura 24 – Diagrama mostrando a trajetória da Lua                      | 45 |
| Figura 25 – Representação do esquema de Hiparco                         | 46 |
| Figura 26 – Representação da órbita elíptica com o Sol sobre o foco 1   | 49 |
| Figura 27 – Modelo do cálculo da excentricidade das órbitas             | 50 |
| Figura 28 – Órbitas elípticas e suas excentricidades                    | 50 |
| Figura 29 – Representação da lei das áreas iguais em tempos iguais      | 51 |
| Figura 30 – Representação da lei dos períodos                           | 52 |

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| Figura 31 – Planeta Netuno                 | 53 |
| Figura 32 – Capa da cartilha didática      | 64 |
| Figura 33 – Página interativa com o leitor | 64 |
| Figura 34 – Sumário da cartilha            | 65 |
| Figura 35 – Página da cartilha             | 68 |

## SUMÁRIO

|             |                                                                   |           |
|-------------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>    | <b>INTRODUÇÃO</b>                                                 | <b>12</b> |
| <b>1.1</b>  | <b>Apresentação do tema</b>                                       | <b>12</b> |
| <b>1.2</b>  | <b>Justificativa</b>                                              | <b>15</b> |
| <b>1.3</b>  | <b>Objetivos</b>                                                  | <b>18</b> |
| 1.3.1       | Objetivo Geral                                                    | 18        |
| 1.3.2       | Objetivos Específicos                                             | 18        |
| <b>2</b>    | <b>PERSPECTIVAS HISTÓRICAS</b>                                    | <b>19</b> |
| <b>3</b>    | <b>ALGUMAS PERSONALIDADES E SUAS CONTRIBUIÇÕES</b>                | <b>26</b> |
| <b>3.1</b>  | <b>Hipátia de Alexandria</b>                                      | <b>26</b> |
| <b>3.2</b>  | <b>Nicolau Copérnico</b>                                          | <b>28</b> |
| <b>3.3</b>  | <b>Johannes Kepler</b>                                            | <b>30</b> |
| <b>3.4</b>  | <b>Galileu Galilei</b>                                            | <b>31</b> |
| <b>3.5</b>  | <b>Isaac Newton</b>                                               | <b>33</b> |
| <b>3.6</b>  | <b>Henrietta Swan Leavitt</b>                                     | <b>35</b> |
| <b>3.7</b>  | <b>Albert Einstein</b>                                            | <b>36</b> |
| <b>3.8</b>  | <b>Nancy Grace Roman</b>                                          | <b>38</b> |
| <b>3.9</b>  | <b>Vera Rubin</b>                                                 | <b>40</b> |
| <b>3.10</b> | <b>Katherine Bouman</b>                                           | <b>41</b> |
| <b>4</b>    | <b>ALGUNS MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS À ASTRONOMIA</b>          | <b>44</b> |
| <b>4.1</b>  | <b>Método para determinar a distância da Terra à Lua</b>          | <b>44</b> |
| <b>4.2</b>  | <b>As Leis Planetárias de Kepler</b>                              | <b>48</b> |
| 4.2.1       | A 1ª Lei de Kepler                                                | 48        |
| 4.2.2       | A 2ª Lei de Kepler                                                | 51        |
| 4.2.3       | A 3ª Lei de Kepler                                                | 52        |
| <b>4.3</b>  | <b>A descoberta do planeta Netuno</b>                             | <b>53</b> |
| <b>5</b>    | <b>A MATEMÁTICA E A ASTRONOMIA NA PERSPECTIVA DA BNCC</b>         | <b>57</b> |
| <b>6</b>    | <b>METODOLOGIA</b>                                                | <b>60</b> |
| <b>6.1</b>  | <b>Tipo de pesquisa</b>                                           | <b>60</b> |
| <b>6.2</b>  | <b>Proposta de elaboração de uma cartilha didática</b>            | <b>61</b> |
| <b>6.3</b>  | <b>Descrição da estrutura organizacional da cartilha didática</b> | <b>63</b> |
| <b>7</b>    | <b>CRONOGRAMA</b>                                                 | <b>66</b> |
| <b>8</b>    | <b>RESULTADOS</b>                                                 | <b>67</b> |
| <b>9</b>    | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>                                       | <b>70</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo inicial, será apresentado o tema deste estudo, a justificativa e os objetivos desta pesquisa.

### 1.1 Apresentação do tema

Desde que o ser humano passou a refletir desenvolvendo a consciência, que está ligada aos mecanismos do pensamento racional, uma das hipóteses apresentadas é a de que os questionamentos sobre a origem da vida, o lugar em que ela se encontra, onde e como o mundo foi formado e que fim ele terá, tem sido uma pergunta feita há milênios, por vários povos, de várias culturas, mesmo estando consideravelmente distantes entre si no tempo e no espaço. É perceptível então, que a curiosidade, desencadeada pela consciência, estimulou a humanidade por querer explicações tangíveis, respostas satisfatórias para questões intrigantes. Nesse sentido, como seria possível demonstrar, estruturar e comprovar as hipóteses para as origens, o funcionamento e a evolução do universo? A filosofia inicia, oferecendo uma alternativa para a compreensão e investigação dessas questões por meio da epistemologia<sup>1</sup>. De acordo com Beltran *et al.* (2010, p. 102):

A filosofia tem, há muito tempo, debruçado sobre essas questões. Especialmente no que se refere à natureza daquilo que é percebido e daquilo que pode ser conhecido (ou ainda daquilo que nós acreditamos conhecer) por meio da percepção ou outra fonte de conhecimento, tais como a memória, a introspecção, a reflexão e assim por diante. Esse ramo da filosofia que trata da natureza, das fontes, bem como, da validade do conhecimento é, muitas vezes, chamada epistemologia ou teoria do conhecimento.

Um aspecto imprescindível para que os questionamentos da humanidade continuassem a serem investigados, é o fato de que os fenômenos naturais tinham forte influência sobre a vida dos povos antigos, e isto conseqüentemente ocasionou na continuidade e no desenvolvimento do conhecimento científico. De acordo com Teresi (2008, apud Souza e Teixeira, 2023, p. 28):

Os antigos egípcios eram um povo muito prático e, do ponto de vista da astronomia, realizaram as suas observações do céu com vistas a produzir um sistema de contagem de tempo que fosse útil para os negócios e para a administração; assim

---

<sup>1</sup> A epistemologia é o ramo da filosofia que estuda o conhecimento, sua natureza, origem, limites e validade.

eles produziram duas contribuições principais: o ano com duração de 365 dias e a divisão de um dia em 24 unidades de tempo menores, as horas.

A observação da imensidão do céu deslumbra as pessoas, tendo algumas dedicado a sua vida para tentar compreender o movimento dos astros celestes, suas interações e os seus ciclos. O astrônomo e matemático Cláudio Ptolomeu, autor da obra *Almagesto*, tida como uma das mais importantes da história da astronomia, apesar de seu modelo geocêntrico<sup>2</sup> ter se mostrado incorreto ao longo do tempo, os historiadores da ciência consideram seu trabalho excepcional, pois seu modelo astronômico possuía uma sofisticação matemática não alcançada por nenhum outro anterior. Pires (2011, p. 54) acrescenta:

Foi ele o último dos grandes astrônomos e matemáticos da escola de Alexandria, e além de suas observações teve acesso a séculos de observações astronômicas dos gregos e babilônios. Procurou desenvolver a estrutura matemática para calcular com precisão os movimentos celestes sem estar preocupado com as causas desses movimentos (isto é, seu modelo era cinemático).

Corroborando com seu trabalho, Hipátia de Alexandria, astrônoma e matemática da época, filha de Theon de Alexandria, também fez contribuições significativas para a astronomia. Juntamente com seu pai, trabalhou na edição e comentários da obra *Almagesto* de Ptolomeu.

A astronomia é a ciência que estuda o movimento, a composição, a origem e as transformações dos corpos celestes, porém nem sempre foi definida como tal. Inicialmente, a astronomia emergiu a partir da observação sistemática do céu, motivada pelo desejo de compreender fenômenos celestes e responder a questionamentos fundamentais sobre o universo. Essas observações foram gradualmente formalizadas e estudadas, contribuindo para o desenvolvimento de teorias e explicações sobre a natureza dos corpos celestes e sua influência na vida humana. Desse modo, a astronomia surge da observação e do estudo dos movimentos dos planetas e das estrelas, sobretudo por conta de influências que os fenômenos naturais tinham sobre a vida dos povos antigos. Sobre este aspecto, Guimarães (2018, p. 13) relata que “a necessidade de estabelecer a época do plantio e colheita e sua relação com a posição do Sol, da Lua e das estrelas, levou os astrônomos da antiguidade a coletar um grande número de dados sobre os movimentos dos astros.”

Considerando o início da astronomia, a matemática também se estabelece na antiguidade como uma das ciências mais antigas, que surge a partir das necessidades

---

<sup>2</sup> O modelo geocêntrico constitui uma antiga teoria astronômica que postula a Terra como o centro do universo.

humanas, dentre as quais estão: quantificar coisas, entender padrões, conceitos geométricos e realizar cálculos. Segundo Boyer (2012, p. 23), “Os matemáticos contemporâneos formulam afirmações sobre conceitos abstratos que podem ser verificadas por meio de demonstrações. Por séculos, a matemática foi considerada a ciência dos números, grandeza e forma”.

Nesse período, em nações como a Babilônia e o Egito a matemática já era utilizada, mesmo que de uma forma mais prática e utilitária. A respeito disso, sobre a astronomia e a Matemática egípcias, Pires (2011, p. 11) menciona que elas desenvolveram-se “para o desenvolvimento de fins práticos: prever as inundações do Nilo, planejar a construção de pirâmides e templos, resolver os problemas de irrigação.” Entretanto os babilônios estavam mais interessados nos diversos fenômenos astronômicos e na previsão precisa destes.

A astronomia na Babilônia alcançou, especialmente nos sécs II e III a.C., um nível de desenvolvimento matemático igualado somente ao dos gregos do período helenístico, conquanto diferente em conteúdo e modo de operação. (Pires, 2011, p. 12).

Com a Filosofia consolidada na Grécia, entre os estudiosos havia divergência de opiniões, onde de um lado se tinham os que defendiam teorias agregadas de misticismo, pois nesta época, na Grécia havia uma forte influência de um mundo repleto de deidades antropomórficas<sup>3</sup>. Por outro lado, tinham os que procuravam por explicações realistas e racionais sobre os mecanismos por trás da constituição e origem do mundo. Foi então com um grupo na Jônia que iniciaram questionamentos acerca da natureza do mundo em que habitavam. Buscaram compreender a composição, a origem e as transformações das coisas.

Procuravam explicações racionais para os fenômenos da Natureza tais como terremotos, tempestades e eclipses. Queriam entender a origem e a natureza do mundo físico. Perceberam que havia regularidades na natureza que permitiam desvendar seus segredos, e os deuses desapareceram das explicações naturais. Os filósofos divergiam entre si e a Filosofia, separando-se da Mitologia, passou a oferecer uma multiplicidade de explicações possíveis. (Pires, 2011, p. 14).

A partir disso, gradativamente, alguns estudiosos começaram a propor possíveis modelos para a estrutura do planeta Terra e sua localização no espaço. A matemática foi a principal ferramenta destes estudos e viabilizou o desenvolvimento da geometria, que começou a ganhar espaço neste campo, apesar de os babilônios já utilizarem cálculos

---

<sup>3</sup> Adjetivo que descreve a atribuição de qualidades humanas a entidades não humanas, como animais, objetos, fenômenos naturais ou seres mitológicos.

envolvendo grandes números e operações mais elaboradas para manipular dados astronômicos.

Um grande feito dos babilônios foi estudar não apenas as posições dos astros, mas suas velocidades. Conseguiram estabelecer relações entre a época do ano e a velocidade do movimento aparente do Sol. Atribui-se aos caldeus (povo que ocupou a Babilônia a partir do século IX a.C.) a introdução da astrologia, que durante séculos confundiria-se com a astronomia em um só campo de estudo. (Macêdo, 2021, p. 25).

Mais tarde, mais observações do céu foram feitas com auxílio de ferramentas criadas para a melhoria destas, como o astrolábio, que foi um instrumento muito utilizado antigamente, que serve para medir ângulos. Segundo Gonçalves *et al.* (2007, p. 34) “Há cerca de 500 anos, os navegadores portugueses usaram o astrolábio para se orientarem no mar. O astrolábio permitia determinar a sua posição na Terra, medindo a altura angular do Sol.” Nessa perspectiva, foi possível catalogar alguns corpos celestes, como planetas e estrelas e obter resultados relativamente precisos de acontecimentos astronômicos, como a previsão de eclipses e passagem de cometas.

Diante disso, o presente trabalho desenvolve um estudo bibliográfico baseado em uma análise histórica da simbiose entre Matemática e Astronomia, apresentando um panorama histórico (capítulo 2) no qual são descritos eventos que evidenciam o surgimento e a trajetória dessas ciências, personalidades históricas significativas para este campo (capítulo 3) juntamente com suas contribuições e alguns modelos matemáticos (capítulo 4) que desempenharam um papel fundamental na evolução do conhecimento científico.

## 1.2 Justificativa

Um dos fundamentos para a realização deste trabalho reside no fato de que, ao longo de sua trajetória acadêmica, a autora desenvolveu uma familiaridade e um interesse profundos por esses temas, a partir de alguns componentes curriculares estudados no curso de Licenciatura em Matemática do Instituto Federal do Amapá. Esse engajamento motivou a escolha do tema em questão e a expansão de seus conhecimentos para incluir a História da Matemática e sua relevância para a Astronomia.

Sob essa perspectiva, buscou-se, portanto, investigar alguns dos motivos que compreendam a relevância desse trabalho. Um deles é a construção da pesquisa para a divulgação do conhecimento científico. Demo (2000, p. 20), define que:

A pesquisa é entendida tanto como procedimento de fabricação do conhecimento, quanto como procedimento de aprendizagem (princípio científico e educativo), sendo parte integrante de todo processo reconstrutivo de conhecimento.

Outro aspecto observado, que está intimamente relacionado à divulgação da pesquisa, é a importância da compreensão desses estudos, pois foi partindo dessa perspectiva que se deu os primeiros passos para o surgimento do conhecimento científico. Neto (2016, p. 2) afirma:

A Astronomia está diretamente ligada ao cotidiano e, portanto, seu entendimento proporciona abrir novos horizontes no que diz respeito à compreensão do funcionamento das esferas celestes. Diante disso, faz-se importante que saibamos como se deu o processo de evolução no pensamento acerca do Universo e quais foram os métodos utilizados por astrônomos/matemáticos nas mais diversas épocas para explicações de fenômenos da natureza.

A matemática, desde sua origem, carrega grande influência no âmbito científico, tida por muitos como uma ferramenta das ciências. Pois, a partir dela, assuntos como a geometria e a trigonometria, se fizeram fundamentais para os avanços da astronomia.

Dessa forma, ao relacionar estes estudos foi possível criar teorias, ferramentas e modelos que contribuíram para o desenvolvimento histórico da ciência. Podemos citar, por exemplo, que desde antes da era Comum sabe-se que a Terra é esférica, Macêdo (2021, p. 29) enfatiza:

Pode-se dizer com segurança, portanto, que desde cerca de 200 a.C. sabe-se não apenas que a Terra não é plana, como se conhece o valor aproximado de seu raio. Terraplanistas costumam argumentar que a demonstração de Eratóstenes supõe uma terra esférica pois seria a única maneira de que, ao mesmo tempo, raios de sol paralelos possuíssem diferentes ângulos de inclinação em pontos distintos; mas esse fenômeno, dizem, seria possível em uma Terra plana com um Sol suficientemente próximo. Mas o experimento de Eratóstenes apenas reafirma o formato da Terra, já conjecturado por seus antecessores Pitágoras e Aristóteles.

Sendo assim, o estudo e a divulgação de conhecimento científico seguro, faz com que as pessoas tenham mais senso de compreensão acerca de assuntos variados, que sejam mais críticas e pensantes, pois de acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o Ensino Médio (Brasil, 2018, p. 544):

Em um mundo repleto de informações de diferentes naturezas e origens, facilmente difundidas e acessadas, sobretudo, por meios digitais, é premente que os jovens desenvolvam capacidades de seleção e discernimento de informações que os permitam, com base em conhecimentos científicos confiáveis, analisar situações-problema e avaliar as aplicações do conhecimento científico e tecnológico nas diversas esferas da vida humana com ética e responsabilidade.

Tendo isto em vista, é possível estabelecer alguns benefícios e avanços para a humanidade, dentre os quais estão: permitir a criação de rotas precisas para navegação marítima e aérea; facilitar o lançamento e funcionamento de satélites para GPS, telecomunicações e observação; avançar o conhecimento em geofísica, climatologia e outras ciências, favorecendo a educação e a pesquisa. Esses avanços promovem a segurança, a eficiência e o desenvolvimento em diversos aspectos da vida contemporânea.

Esse estudo se revela fundamental, especialmente ao considerarmos que muitos dos aspectos analisados estão alinhados à BNCC para o Ensino Médio (Brasil, 2018), onde estabelece, entre suas competências específicas para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias:

Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).(Brasil, 2018, p. 539).

Nesse sentido, podemos notar que este tema possui uma possibilidade ampla de relações, uma vez que o conteúdo em questão possui um potencial significativo para ser abordado de maneira interdisciplinar com diversas áreas do conhecimento, podendo ser adequadamente integrado a disciplinas como geografia, história, física, filosofia, entre outras. Seguindo a perspectiva de Siemsen e Lorenzetti (2018, p. 10):

Na Educação Básica, a astronomia faz parte da matriz curricular proposta pelos PCN+ (BRASIL, 2002) no eixo estruturador “Universo, Terra e Vida”. Apesar de estar descrita como participante da disciplina específica de Física, os PCN+ (BRASIL, 2002) reconhecem que a astronomia é interdisciplinar possui diversas interfaces com disciplinas tais como biologia, física, química, história, geografia, entre outras.

Dessa forma, compreender a história da matemática e da astronomia é essencial não apenas para reconhecer os fundamentos teóricos e metodológicos que sustentam essas disciplinas, mas também para apreciar o impacto profundo que elas exerceram no desenvolvimento da ciência e da tecnologia. Como descrito por Chassot (2018, p. 12), “a ciência moderna é plena de modelos e teorias que nos ajudam a compreender fenômenos e até a fazer previsões, muitas vezes com grande sucesso.” A partir do estudo histórico, é possível observar como parte dos conceitos e das técnicas matemáticas foram moldados pelas necessidades astronômicas e, em contrapartida, como a astronomia impulsionou a evolução da

matemática. Esse diálogo contínuo entre as duas áreas revela a importância do conhecimento interdisciplinar na construção de teorias que transformaram nossa visão do universo e da própria humanidade.

### **1.3 Objetivos**

#### 1.3.1 Objetivo Geral

- Evidenciar contribuições da Matemática na Astronomia por meio de uma análise histórica, enfatizando sua relevância para o avanço da ciência.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma análise do contexto histórico da matemática na astronomia, destacando a sua contribuição na construção de tecnologias e para o avanço do conhecimento;
- Identificar algumas figuras históricas cujas contribuições na matemática e na astronomia foram fundamentais para o desenvolvimento da ciência;
- Mostrar alguns modelos matemáticos e a sua importância, para estruturar modelos astronômicos;
- Promover a divulgação do conhecimento científico deste trabalho de forma prática, por meio de uma cartilha didática indicada para estudantes a partir do 9º ano do ensino fundamental.

## 2 PERSPECTIVAS HISTÓRICAS

Neste capítulo, serão apresentados alguns estudiosos que contribuíram para o avanço da astronomia, alguns de seus respectivos trabalhos e realizações relevantes para a história da ciência, tendo-a influenciado diretamente, sobretudo pela utilização da matemática como ferramenta.

A astronomia começou, antigamente, quando as primeiras civilizações, como os babilônios, egípcios e chineses, começaram a fazer registros sistemáticos dos movimentos do Sol, da Lua e das estrelas. Monumentos antigos como Stonehenge<sup>4</sup>, indicam que as sociedades pré-históricas já tinham conhecimento de fenômenos astronômicos e usavam essas construções para marcar eventos como solstícios, equinócios e ou eclipses. De acordo com Gonçalves *et al.* (2007, p. 6):

Os gregos desenvolveram a Astronomia entendendo-a como um ramo da Matemática. Do esforço dos gregos em conhecer a natureza do cosmos, e com o conhecimento herdado dos babilônios sobre as suas aritméticas envolvendo o tempo e as distâncias angulares, os gregos conseguiram transformar as suas cosmologias especulativas em modelos geométricos.

Um dos primeiros filósofos e contemporâneos de Tales de Mileto foi Anaximandro (610-546 a.E.C.), conhecido por suas ideias sobre a origem do cosmos e da vida. Foi o primeiro a teorizar um Universo geométrico e sem um criador. Segundo Neto (2016, p. 6) “Anaximandro postulou que o Universo era eterno e infinito em extensão com a Terra sendo o centro e cuja forma era cilíndrica.”

O filósofo Marx Wartofsky chama a atenção para o fato de que os conceitos físicos de Anaximandro se encontram presentes, de forma modificada, em grande parte da ciência moderna. São eles: 1- A ideia de um movimento original do qual tudo se origina e transforma; 2- A ideia de que todas as coisas do mundo são combinações de elementos primários; 3- A ideia de mudanças constantes no Universo; 4- A ideia do indeterminado como ponto de partida; 5- A ideia da necessidade de uma lei que opera, imutável, através do tempo. (Pires, 2010, p. 16).

---

<sup>4</sup> Stonehenge é um monumento pré-histórico na Inglaterra, composto por um círculo de grandes pedras erguidas, possivelmente usado para fins cerimoniais, religiosos ou astronômicos.

Figura 1 – Anaximandro, filósofo da escola jônica.

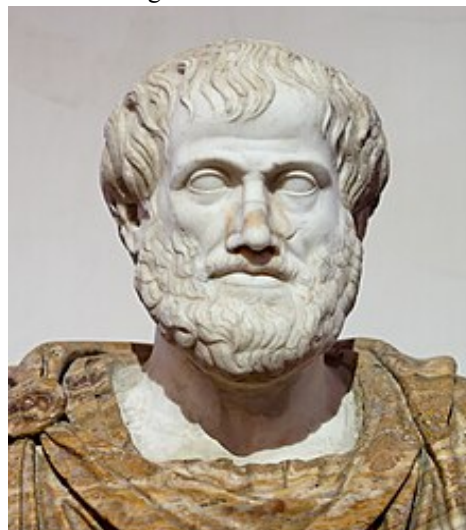


Fonte: Brasil Escola, 2024.

Os pitagóricos, membros da escola pitagórica, fundada por Pitágoras um grande matemático, que viveu entre 585 e 565 a.E.C., acreditavam que os números eram o cerne de todas as coisas. A partir disso, Neto (2016, p. 7) salienta que esta crença “pode ser associada à ideia moderna de que o Universo é descrito por quantidades matemáticas.”

Outra figura importante foi Aristóteles (384-322 a.E.C.), muitas vezes considerado um dos pensadores mais importantes da história do Ocidente, realizou contribuições significativas em diversas áreas, tais como lógica, ética, política, biologia e metafísica. Segundo Pires (2011, p. 33), “seu trabalho representa a primeira tentativa de uma descrição do Universo físico em termos de argumentos lógicos baseados em suposições simples e observações da natureza.”. Também, conforme Gonçalves *et al.* (2007, p. 6), “concluiu que a Terra era aproximadamente esférica (usando o argumento que a sombra da Terra na Lua durante os eclipses era sempre circular) e determinou distâncias relativas dos corpos celestes.”

Figura 2 – Aristóteles

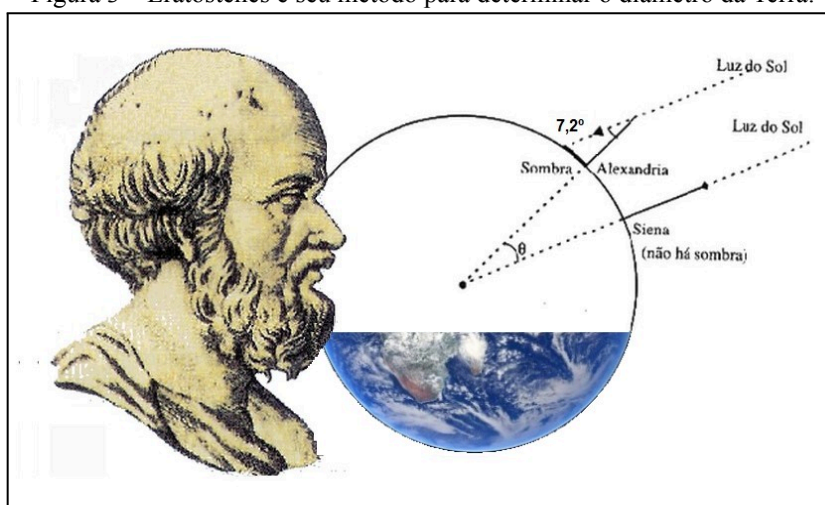


Fonte: Wikipédia, 2024.

Eratóstenes (276-194 a.E.C.), outro matemático e astrônomo da época, o primeiro a conseguir determinar com extrema precisão o diâmetro da Terra, Gonçalves et al.(2007, p. 6) acrescenta:

Usando ângulos de sombras criadas em regiões totalmente distintas, estimou o perímetro da circunferência da Terra com uma grande precisão. Eratóstenes também estimou a distância ao Sol e a distância à Lua, usando dados obtidos durante os eclipses da Lua.

Figura 3 – Eratóstenes e seu método para determinar o diâmetro da Terra.



Fonte: LEME Magazine, 2024.

Aristarco de Samos (310-230 a.E.C.), foi audacioso ao propor um modelo heliocêntrico<sup>5</sup> do sistema planetário, se opondo ao de Aristóteles, que até então era o predominante da época, logo seu trabalho foi desconsiderado e esquecido. De acordo com Neto (2016, p. 10):

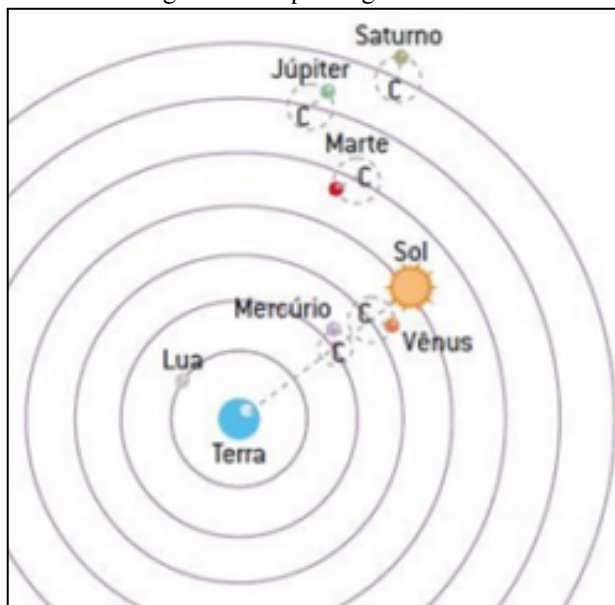
Um fato curioso é que esse modelo proposto por Aristarco foi esquecido por quase 2 mil anos. Possivelmente, se o fenômeno astronômico paralaxe estelar fosse conhecido, possivelmente a ideia de Aristarco teria maior força. No entanto, tal fenômeno somente foi comprovado por Friedrich Bessel em 1838.

Ptolomeu, assim como Pitágoras, tem seus mistérios quanto ao ano de seu nascimento, este viveu entre 100-170 d.E.C. Mencionado anteriormente, foi um estudioso muito influente no campo da Ciência. Autor da obra *Almagesto*, reconhecida como base da astronomia até o séc. XVII, onde se encontra o modelo geocêntrico do sistema solar. Conforme Macêdo (2021, p. 29):

<sup>5</sup> O modelo heliocêntrico é uma teoria astronômica que posiciona o Sol no centro do sistema solar, com os planetas girando ao seu redor.

O *Almagest* é uma grande compilação da astronomia grega até então, combinando descobertas de Ptolomeu com as de seus antecessores. Nele se estabelece o modelo geocêntrico, com uma Terra esférica, um Sol, uma Lua e cinco planetas (todos esféricos). Para explicar o distanciamento dos planetas em relação à Terra (que só seria compreendido corretamente com as trajetórias elípticas de Kepler), Ptolomeu adota a teoria dos epiciclos proposta por Apolônio.

Figura 4 – Esquema geocêntrico.



Fonte: Espaço do Conhecimento UFMG, 2024.

Segundo Boyer (2012, p. 126) “De longe, a mais influente e significativa obra trigonométrica da antiguidade foi a *Syntaxis matemática*, obra de treze livros escrita por Ptolomeu de Alexandria cerca de meio século depois de Menelau.” A partir de seu trabalho e empenho no desenvolvimento de tabelas trigonométricas, Boyer (2012, p. 128) afirma que:

A tabela formava parte essencial do livro I do *Almagesto* e continuou a ser um instrumento indispensável para os astrônomos por mais de mil anos. Os doze livros restantes do célebre tratado contêm, entre outras coisas, a teoria elegantemente desenvolvida dos ciclos e epiciclos para os planetas, conhecida como sistema ptolomaico.

De acordo com Boyer (2012, p. 129), Ptolomeu obteve precisão em suas representações dos movimentos planetários, “mas naturalmente o artifício era apenas cinemático e não tentava contribuir em nada para resolver as questões de dinâmica levantadas por movimentos circulares não uniformes.”

Conforme Pires (2011, p. 55), “Foi ele o último dos grandes astrônomos e matemáticos da escola Alexandrina [...] procurou desenvolver a estrutura matemática para calcular com

precisão os movimentos (isto é, seu modelo era cinemático).” Segundo as considerações de Pires (2011, p. 56):

Para formular seu sistema, partiu da noção aristotélica de dois movimentos principais nos céus. O primeiro desses carregava toda a esfera celeste (contendo as estrelas, o Sol, a Lua e os planetas) em torno do observador uma vez por dia e o segundo era o responsável pelo movimento do Sol, da Lua e dos planetas relativos às estrelas fixas.”

Figura 5 – Cláudio Ptolomeu.



Fonte: Wikipédia, 2024.

Nicolau Copérnico (1473-1543), astrônomo e matemático frequentemente associado, por muitos estudiosos, como quem desencadeou uma revolução na astronomia por seu modelo inovador de um sistema planetário heliocêntrico. Este modelo mudou a compreensão do universo e influenciou fortemente cientistas posteriores, como Johannes Kepler, Galileu Galilei e Isaac Newton. Contudo, alguns escritores declaram que esta revolução, na verdade, foi fomentada por Kepler como sendo o primeiro a expressar em equações matemáticas, as leis da natureza. Na visão de Pires (2011, p. 86) “não podemos negar que o trabalho de Copérnico continha a semente da revolução científica que alcançaria seu ponto culminante com Newton.” Em 1530, ele expôs um manuscrito não publicado, *Commentarius*, com uma prévia de seu modelo que não teve muita repercussão, contudo o papa Clemente VII deu sua aprovação para que viesse a ser público.

Na primavera de 1539 Copérnico recebeu a visita de Jorge Joaquim Rético, professor de matemática na Universidade Luterana de Wittenberg. Rético ficou dois anos ininterruptos estudando os detalhes do sistema planetário copernicano. Em 1540, com a aprovação de Copérnico concordou finalmente que seu trabalho *Sobre as Revoluções das Esferas Celestes* fosse publicado. (Pires, 2011, p. 87).

Figura 6 – Obra “Sobre as revoluções das esferas celestes”.



Fonte: Universo Racionalista, 2024.

Tycho Brahe (1546-1601) foi um astrônomo cuja principal contribuição para a ciência foi a criação de um extenso e preciso catálogo de observações celestes, elaborado antes da invenção do telescópio. O interesse de Brahe pela astronomia foi despertado após presenciar um eclipse solar parcial, evento que o impressionou pela precisão das previsões. A partir daí, sua dedicação à observação dos céus tornou-se uma prioridade. Um momento decisivo em sua carreira ocorreu quando ele observou a proximidade entre Júpiter e Saturno, fenômeno que as tabelas planetárias da época não previam com exatidão. Tycho viu que as tabelas de Copérnico e Ptolomeu tinham um erro de vários dias e as segundas quase um mês. Essa descoberta de erro reforçou sua determinação de aumentar a precisão dos dados astronômicos e permitiu avanços significativos na observação celeste.

Dois fatos marcantes no céu fizeram-no aumentar sua dedicação ao estudo dos astros: o surgimento de uma “nova” estrela que explode e aumenta de brilho (o que contradizia a ideia reinante de que o céu era imutável) e o aparecimento de um cometa, que ele conseguiu verificar estar bem além da Lua (na época, achava-se que os cometas eram manifestações que ocorriam próximo a Terra). Assim, com suas convicções abaladas, Brahe intensificou suas observações e seus registros.” (Guimarães, 2018, p. 26).

Figura 7 – Tycho Brahe.



Fonte: Wikipédia, 2024.

Brahe, com seu trabalho bem articulado e aperfeiçoado cuidadosamente, contribuiu para as realizações posteriores de Johannes Kepler, por exemplo, que formulou as leis planetárias do sistema solar (descritas mais adiante no capítulo 4), a partir de dados astronômicos coletados por Brahe. Nesse sentido, é perceptível que “[...] a ciência teria por propósito a eliminação dos erros das teorias anteriores, substituindo-as por teorias mais verossímeis de tal modo a aproximar-se da verdade.”(Beltran et al. 2010, p. 110).

Ao longo da história, a relação entre a matemática e a astronomia tem desempenhado um papel crucial no desenvolvimento do conhecimento sobre o Universo. Desde as primeiras civilizações que empregavam métodos matemáticos elementares para prever ciclos astronômicos, até às contribuições fundamentais de referências como Johannes Kepler e Isaac Newton, cujas formulações matemáticas das leis do movimento planetário transformaram profundamente a compreensão do cosmos, a matemática tem sido uma ferramenta indispensável. Na astronomia moderna, essa conexão se aprofunda com o uso de sofisticados modelos matemáticos para a análise de grandes conjuntos de dados, entre os quais estão: modelos de simulação *N-Body*<sup>6</sup>; Transformada de Fourier<sup>7</sup>; modelos de reconstrução de imagem (*Image Deconvolution*)<sup>8</sup>; e a simulação de fenômenos astrofísicos complexos, permitindo avanços significativos na exploração do universo e na compreensão de sua estrutura e dinâmica.

---

<sup>6</sup> Modelos usados para estudar a evolução dinâmica de sistemas estelares, galáxias e aglomerados de galáxias.

<sup>7</sup> É usada para analisar sinais periódicos em dados astronômicos, como em observações de pulsares e dados de ondas gravitacionais.

<sup>8</sup> Modelos usados para reconstruir e melhorar imagens com limitações ópticas ou atmosféricas, usando técnicas de **deconvolução de imagens** (baseadas em transformadas de Fourier e algoritmos de otimização).

### 3 ALGUMAS PERSONALIDADES E SUAS CONTRIBUIÇÕES

Nesta seção, abordaremos alguns dos indivíduos cujas contribuições tiveram um impacto significativo no desenvolvimento histórico da ciência, sobretudo da astronomia.

A seleção dessas personalidades baseou-se no levantamento bibliográfico realizado. Durante a pesquisa para o referencial teórico, observou-se que, ao analisar a história e os estudos diante do tema, diversos estudiosos são frequentemente mencionados devido ao impacto de seus trabalhos na área. Mesmo quando não revolucionários, esses estudos serviram de base para avanços posteriores, contribuindo para o progresso da ciência. O conhecimento científico atual resulta desse processo histórico contínuo, no qual múltiplas contribuições impulsionaram diferentes campos do saber.

Dessa maneira, tornou-se imprescindível a seleção criteriosa de personalidades a serem abordadas, considerando não apenas suas contribuições, mas também sua relevância para esta pesquisa. A autora optou por destacar dez figuras cujos trabalhos tiveram impacto desde a Era Moderna, garantindo a continuidade da análise histórica iniciada no Capítulo 2, que abrange a Antiguidade. Assim, estruturou-se uma linha do tempo que evidencia a interseção entre Matemática e Astronomia. Além disso, a seleção contemplou a inclusão de personalidades femininas, uma vez que o levantamento bibliográfico evidenciou a escassez de estudos sobre mulheres nessa área. Com o intuito de ampliar essa perspectiva e enriquecer a abordagem, a pesquisa também incorporou cientistas contemporâneas cujos trabalhos dialogam com avanços tecnológicos, consolidando, assim, uma visão mais abrangente e representativa do desenvolvimento científico.

#### 3.1 Hipátia de Alexandria

Hipátia nasceu em Alexandria, por volta do ano de 370 E.C. no Egito e foi fortemente influenciada por seu pai Theon, um matemático, filósofo e astrônomo da época. Hipátia teve participação em muitos aspectos distintos e significativos tanto na matemática quanto na astronomia ao longo de sua vida. Não foi casada, justificando-se por sua dedicação ao trabalho científico e é considerada a primeira mulher nas ciências a possuir trabalhos importantes, sobretudo nas ciências exatas. Corroborando com esta ideia Sobrinho e Oliveira (2023, p. 22) acrescentam que “Hipátia jamais se casou, apesar de sua beleza e eloquência. Ela dedicou sua alma ao emprego científico, declarando-se ‘casada com a verdade’”.

Figura 8 – Hipátia de Alexandria.



Fonte: WordPress, 2024.

Hipátia estudou na Grécia, em Atenas e em sua cidade natal, Alexandria, onde obteve o título de mestra em filosofia e matemática, apesar de também possuir um vasto conhecimento em medicina e astronomia, onde é frequentemente associada ao uso e desenvolvimento de equipamentos astronômicos como o astrolábio (Ver a Figura 10), utilizado para medir a posição das estrelas e a altura do Sol, instrumento fundamental para a prática da astronomia da época.

Conhecida por seu trabalho em astronomia, Hipátia se envolveu nas revisões dos trabalhos de astrônomos anteriores, como Cláudio Ptolomeu, ajudando a preservar e disseminar o conhecimento astronômico da época. Outro trabalho atribuído às suas colaborações é na área de matemática, onde segundo Sobrinho e Oliveira (2023, p. 22):

Em matemática, seus resultados de pesquisa foram apresentados em vários manuscritos, incluindo "Comentários sobre a aritmética de Diofanto". Deve-se notar que Diofanto de Alexandria foi um importante matemático grego do século III a.C. Ele foi considerado por muitos estudiosos como o "Pai da Álgebra".

Figura 9 – O astrolábio.



Fonte: Toda Matéria, 2024.

Hipátia também esteve presente no campo educacional, por sua eloquência impressionante, esteve atuando como professora na Biblioteca de Alexandria onde desempenhou um papel essencial na formação de novos astrônomos e matemáticos. Sua escola em Alexandria foi um centro importante de aprendizado e debate científico.

Apesar de ter dedicado sua vida à ciência, Hipátia teve um fim trágico por conta de seu engajamento nas diversas esferas do saber. Sua postura imparcial, tratando todos os seus alunos com igualdade, além de sua tolerância e racionalidade, gerou ciúmes que resultaram em hostilidades. Como pagã, defensora do racionalismo científico grego, Hipátia enfrentou uma forte hostilidade. Segundo Sobrinho e Oliveira (2023, p. 23), Hipátia foi acusada de blasfêmia “porque ela se recusou a trair seus ideais e renunciar ao paganismo a levaram a uma emboscada, onde foi brutalmente assassinada.”

Hipátia foi uma das últimas intelectuais conhecidas a trabalhar na Biblioteca de Alexandria e a primeira matemática feminina registrada na história. Por isso, sua morte violenta foi vista como o fim do antigo período da matemática grega. Hipátia foi retratada pelo pintor renascentista Rafael Sanzio em sua pintura “A Escola de Atenas”. (Sobrinho; Oliveira, 2023, p. 23).

### 3.2 Nicolau Copérnico

Nicolau Copérnico, astrônomo, nascido em 1473 na Polônia, filho de um mercador rico que veio à falência quando Copérnico tinha apenas 10 anos. Foi então criado por seu tio Lucas, que mais tarde se tornara bispo. Até onde sabemos, Copérnico foi um jovem estudioso e religioso. Foi enviado para a Universidade da Cracóvia ao completar 18 anos, lugar em que desenvolveu interesse por astronomia e matemática. Pires (2011, p. 86), acrescenta que:

Deixou a universidade em 1494, retornando a Torun, sem fazer os exames para se graduar. Dois anos mais tarde tornou-se cônego de Frauenburg, sem no entanto, receber as ordens sagradas. Partiu imediatamente para a Itália a fim de continuar seus estudos e aperfeiçoar sua educação em vários campos, indo primeiro para a Universidade de Bolonha, onde estudou leis canônicas como preparação para trabalhos administrativos na Igreja. Passou o ano 1500 em Roma e no ano seguinte foi para Pádua com o objetivo de estudar Medicina. Em 1503 esteve em Ferrara com o objetivo de obter seu título de doutor em leis canônicas. Em 1506, voltou para a Polônia como jurista e médico e com amplo conhecimento de grego, Matemática e Astronomia. Ele mencionou que foi imediatamente depois de seu retorno que começou a desenvolver seu sistema astronômico.

Figura 10 – Nicolau Copérnico.



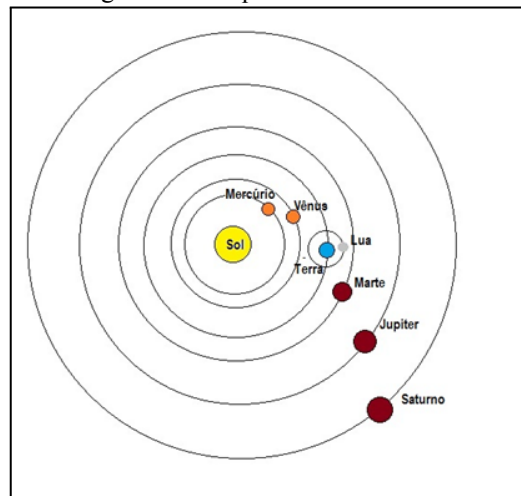
Fonte: Toda Matéria, 2024.

Copérnico é considerado por muitos como causador de uma revolução no campo da astronomia, pois mudou a compreensão que antes se tinha do sistema solar, a partir de seu modelo heliocêntrico, uma teoria que contrasta com o modelo geocêntrico, que colocava a Terra no centro do universo, que, até então, era compreendido apenas como o sistema solar, pois ainda não se tinha conhecimento sobre corpos celestes mais distantes. Copérnico tomou como base trabalhos de astrônomos anteriores, o modelo de Ptolomeu é um exemplo. Pires (2011, p. 86) ressalta que “ Sistemas heliocêntricos já haviam sido propostos anteriormente, mas ninguém se dera ao trabalho de desenvolver os detalhes matemáticos do modelo”. Após o modelo inovador de Copérnico, este acontecimento ficou conhecido como “Revolução Copernicana”, que Kuhn (2002, p. 1) denomina como sendo

um evento científico culminante na história cultural da humanidade. Seus desdobramentos ultrapassaram em larga medida os limites do campo de saber em que se originou e se irradiaram para as diferentes áreas do pensamento humano, desencadeando uma completa transformação da forma como o homem via o Universo e a si mesmo. Esta transformação promoveu a substituição de uma visão de mundo fundamentada no pensamento aristotélico por outra imagem da Natureza e do Universo, característica da ciência moderna.

Na Figura 11 tem-se representado o modelo heliocêntrico proposto por Nicolau Copérnico, em que pode-se observar que são mostrados os planetas de Mercúrio até Saturno, que eram os planetas até então descobertos.

Figura 11 – Esquema Heliocêntrico.



Fonte: Instituto Claro, 2024.

### 3.3 Johannes Kepler

Johannes Kepler nasceu em 1571 na Alemanha. Conforme Pires (2011, p. 98):

Filho prematuro, Johannes foi uma criança doente. Tinha miopia, visão múltipla, problemas estomacais e furúnculos, mas sua inteligência superior foi reconhecida desde a infância. Frequentou a escola irregularmente. Com nove anos, devido a problemas financeiros da família, saiu da escola para trabalhar no campo. Aos treze conseguiu se matricular no seminário protestante de Adelberg. Dois anos mais tarde transferiu-se para Maulbronn.

Kepler conseguiu frequentar a Universidade de Tübingen, a partir de uma política de fornecimento de bolsas para estudantes pobres adotada pelos duques de Württemberg. Na universidade começou a estudar Astronomia sob as orientações de Michael Maestlin, que considerava o modelo de Copérnico verdadeiro.

Figura 12 – Johannes Kepler.



Fonte: Toda Matéria, 2024.

Por muitos anos Kepler estudou principalmente o planeta Marte. Seu interesse por este planeta se deve pelo fato de que Marte se desviava muito em sua órbita, o que o diferenciava dos demais planetas vistos a olho nu.

Kepler descobriu que a linha imaginária que liga os planetas ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais, essa é a chamada segunda Lei de Kepler, isto é, quanto mais próximo do Sol um planeta estiver, mais rápido ele será. Da mesma forma, quanto mais distante do Sol, mais lento o planeta será. Caso a órbita fosse circular, o que não era verdade, a velocidade seria a mesma. O problema era encontrar a forma correta da órbita. Kepler continuou sua busca até chegar à conclusão que as órbitas dos planetas não eram circulares, e sim, elípticas com o Sol ocupando um dos focos. Essa é conhecida como a primeira Lei de Kepler. (Neto, 2016, p. 15).

Kepler não se fez satisfeito, mesmo já tendo encontrado uma relação que compreendia a velocidade dos planetas, e as formas das órbitas destes. Dessa forma, investigou se havia alguma relação das distâncias entre os planetas e o Sol. Quando finalmente encontrou essa relação concluiu as Leis do movimento planetário com uma terceira lei. Neto (2016, p. 16) constata que a lei determina: quanto mais longe do Sol o planeta estiver, mais tempo levará para completar uma volta. “No entanto essa relação não é direta, o quadrado do período orbital de um planeta é proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol.”

Essas leis (as quais abordaremos no capítulo seguinte), pela primeira vez, descreveram de forma precisa os movimentos dos planetas, substituindo o modelo tradicional geocêntrico e de órbitas circulares por um modelo heliocêntrico de maior precisão. As descobertas de Kepler estabeleceram uma fundamentação sólida para a formulação da teoria da gravitação universal por Isaac Newton, revolucionando nossa compreensão da mecânica celeste.

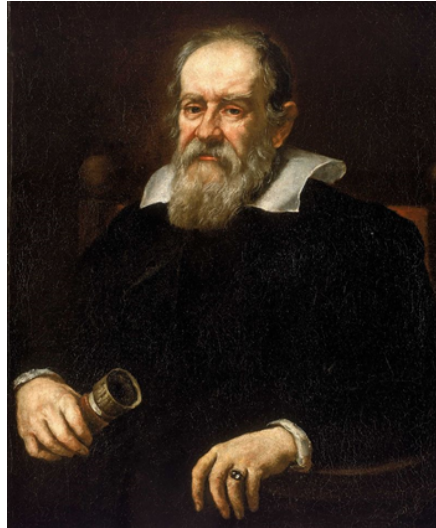
### **3.4 Galileu Galilei**

Galileu Galilei nasceu no ano de 1564 em Pisa, na Itália. Foi um cientista brilhante, considerado um dos fundadores da astronomia moderna. Teve trabalhos nas áreas de astronomia e física que tiveram impacto significativo e duradouro na maneira como entendemos o universo. Galileu fez importantes descobertas e introduziu métodos de observação que transformaram a astronomia e influenciaram o desenvolvimento da ciência em geral. Embora seja frequentemente creditado como o inventor do telescópio, Galileu nunca reivindicou essa criação.

O instrumento que mais trouxe evidências em favor do heliocentrismo foi o telescópio de Galileu Galileu (séc. XVI). Galileu não foi o criador do primeiro

telescópio, mas aprimorou esse instrumento de modo que fosse capaz de ampliar um objeto em até 30 vezes 54. Em seu livro Mensageiro Sideral, são relatadas estrelas invisíveis a olho nu -mais uma evidência contra a “esfera celeste” - e satélites orbitando Júpiter, o que mostra que a Terra pode se mover sem se afastar da Lua. (Macêdo, 2021, p. 35).

Figura 13 – Galileu Galilei.



Fonte: Instituto Claro, 2024.

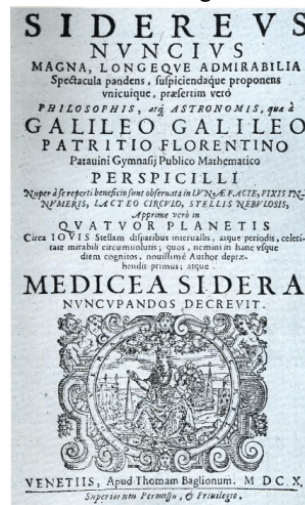
Conforme Albergaria (2021, p.2):

No final do ano de 1609, Galileu Galilei apontou seu rudimentar telescópio para o céu e enxergou o cosmos mais longe e com maior nitidez do que qualquer outro ser humano havia, até então, imaginado. As observações do famoso acadêmico pisano, comunicadas no ano seguinte por seu livro Sidereus nuncius (Mensageiro das estrelas, em tradução livre), causaram uma miríade de reações contraditórias, de surpresa e encantamento a estranhamento e negação. Nos quatrocentos anos seguintes, a ciência se institucionalizou como ferramenta poderosa de conhecimento e intervenção sobre a natureza, a física seguiu a rota dos pioneiros passos do início do século XVII e invadiu as explicações de fenômenos celestes, e a própria atividade de observar os confins do espaço expandiu nosso universo com seguidas revoluções técnicas que culminaram nos atuais telescópios espaciais.

Publicada em 1610, suas observações contrariavam a visão aristotélica do cosmos, que predominava na época e considerava os corpos celestes como perfeitos e imutáveis. Neto (2016, p. 27) sobre Galileu após inserir o uso do telescópio em seu trabalho, acrescenta:

Esse fato lhe rendeu fama, ao mesmo tempo em que possibilitou a descoberta de mais de 500 estrelas nunca vista antes, além de refutar a ideia de a superfície lunar ser suave e uniforme. Galileu viu, com a utilização do telescópio, várias “manchas” na Lua, umas mais claras outras mais escuras. Dentre várias descobertas, ele encontrou os quatro satélites de Júpiter e, assim, resolvendo uma “anomalia” no modelo heliocêntrico. Descobriu também os anéis de Saturno, as fases de Vênus e manchas no Sol. Este último acaba por destruir a imutabilidade dos “céus aristotélicos”.

Figura 14 – Obra “Mensageiro das estrelas”.



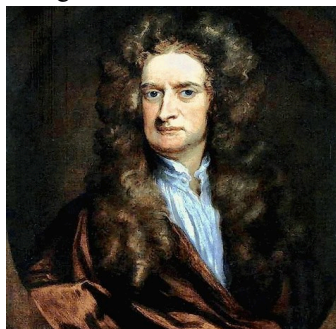
Fonte: Centro Ciência Viva de Vila do Conde, 2024.

Galileu, um cientista que viveu no período em a Igreja dominava com sua temida Inquisição, na primeira metade do século XII, enfrentou grandes obstáculos quanto a seu trabalho e sua forte defesa do modelo heliocêntrico, que ia diretamente contra as ideias que a Igreja pregava na época, a qual apoiava e “patrocinava” trabalhos, que iam de acordo com os dogmas do catolicismo, que colocavam a Terra como sendo o centro do Universo.

### 3.5 Isaac Newton

Isaac Newton nasceu em 1643, em Woolsthorpe, na Inglaterra. Sua infância foi marcada por dificuldades familiares, já que seu pai morreu antes de seu nascimento e sua mãe casou-se novamente, deixando-o aos cuidados de suas avós. Desde cedo, evidenciou um talento excepcional para a matemática e a mecânica. Em 1661, ingressou na Universidade de Cambridge, onde se dedicou ao estudo de matemática e filosofia natural.

Figura 15 – Isaac Newton.



Fonte: Wikimedia Commons, 2024.

Devido à Peste Bubônica de 1665-1666, a universidade foi fechada, e Newton retornou para Lincolnshire. Foi nesse período, que ele desenvolveu as bases para suas futuras descobertas. Em reclusão, Newton trabalhou no cálculo (independentemente de Leibniz), na natureza da luz, e na gravitação.

Ele data de 1666 sua descoberta da teoria gravitacional: imaginou a gravidade como estendendo-se até à órbita da Lua, e comparou a força necessária para manter a Lua em sua órbita com a força da gravidade na superfície da Terra (mas aqui ele pensou em um efeito centrífugo e não o de uma força centrípeta, como faria mais tarde). [...] Newton resumiu seus trabalhos iniciais em Mecânica em um artigo que chamou de As leis do Movimento. [...] Em outubro de 1666, Newton concluiu um tratado onde apresentava a idéia do que hoje chamamos de cálculo infinitesimal. O trabalho usava a Geometria Analítica e a idéia de que uma curva é a trajetória de um ponto em movimento. (Pires, 2011, p. 183).

A história famosa diz que, ao ver uma maçã cair de uma árvore, Newton teve a ideia de que a força que fez a maçã cair é a mesma que mantém a Lua em órbita ao redor da Terra. Embora essa narrativa seja mais simbólica do que embasada em fatos, ela reflete o julgamento de Newton sobre a existência de uma força universal que atua à distância. A partir dessas reflexões, ele formulou a lei da gravitação universal, que propôs que todos os objetos com massa atraem uns aos outros com uma força proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Essa teoria foi publicada em 1687 em sua obra-prima, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Gonçalves et al. (2007, p. 7) acrescenta que:

Por consequência, logo após a publicação dos *Principia* algumas das técnicas e ideias nele presentes, começaram a ser usadas na resolução de diversos problemas na Astronomia. O impacto da obra de Newton estendeu-se muito para além da Astronomia e da Física, deu origem a uma atitude otimista em relação à capacidade humana de, através da matemática, entender o universo, que funcionava de acordo com leis deterministas expressas por equações diferenciais.

Newton é muito famoso por também formular as três leis do movimento, que formam a base da mecânica clássica. Essas leis descreveram como objetos se movem e interagem, que oferecem uma explicação matemática para o movimento de corpos celestes. A partir delas, foi possível entender por que os planetas seguem trajetórias elípticas, conforme as leis de Kepler, e estabelecer os fundamentos da física newtoniana, que prevaleceu na ciência até o surgimento da teoria da relatividade de Einstein. As ideias de Newton mudaram completamente a forma como era compreendido o cosmos e estabeleceu um marco na

Revolução Científica. Suas teorias permitiram previsões precisas de fenômenos astronômicos e trouxeram, sobretudo, os fundamentos para a física teórica e a engenharia espacial.

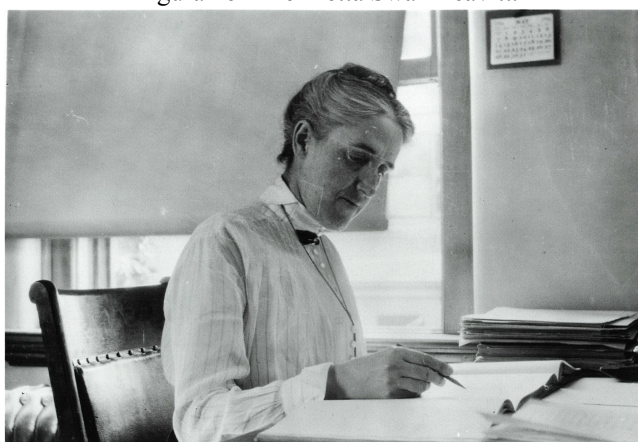
### 3.6 Henrietta Swan Leavitt

Henrietta Swan Leavitt nasceu em Massachusetts em 1868, frequentou a Society for Collegiate Instruction of Women, sendo que para ingressar nesta instituição teve de passar em diversos testes incluindo grego, francês, latim, literatura, conhecimentos de astronomia, geometria, álgebra e física. Leavitt foi uma astrônoma americana do início do século XX, cujo trabalho teve um impacto significativo na astronomia. Trabalhando no Observatório do Harvard College, Henrietta fez parte de um grupo chamado de Calculadoras<sup>9</sup> e se especializou em estudar estrelas variáveis, particularmente um tipo conhecido como Cefeidas.

Sua descoberta mais importante foi a relação entre o período de luminosidade de estrelas variáveis e sua luminosidade. Leavitt percebeu que quanto mais longo o período de variação da luminosidade de uma Cefeida, maior era sua luminosidade real. Isso significava que, ao medir o período de uma Cefeida, era possível determinar sua luminosidade intrínseca e, conseqüentemente, calcular sua distância da Terra. Corroborando com esta ideia, Barros (2018, p. 13) aponta:

Leavitt não é uma estudiosa de astronomia muito conhecida, embora sua pesquisa tivera grande importância na astronomia, pois ela descobriu uma relação chamada Período-Luminosidade de estrelas variáveis que permitiu medir distâncias de corpos fora de nossa galáxia, essa relação ficou conhecida também como “Régua Cósmica”.

Figura 16 – Henrietta Swan Leavitt.



Fonte: Space.com, 2024.

---

<sup>9</sup> Grupo de mulheres que faziam cálculos astronômicos utilizando chapas fotográficas tiradas pelos astrônomos por meio de telescópio.

A descoberta de Leavitt forneceu uma "fita métrica cósmica" para medir distâncias no universo. Utilizando estrelas variáveis como marcadores de distância, os astrônomos puderam calcular distâncias para outras galáxias, um passo crucial para determinar a escala do universo.

O trabalho de Leavitt foi baseado na observação de várias chapas que resultaram em tabelas com dados que ela poderia comparar para tirar suas conclusões. Não foi um processo fácil, pois a diferença entre as placas dificultava as observações e a variação nas cores e na qualidade das fotos eram fatores que influenciavam no seu trabalho, mesmo assim ela conseguiu dados suficientes para chegar a uma solução para a questão de medir distâncias. (Barros, 2018, p. 18).

Leavitt então, concluiu que medindo a velocidade de pulsação de uma estrela e vendo seu brilho a partir da Terra, o astrônomo poderia deduzir a distância até o objeto observado. Conforme Barros (2018, p. 20):

Foi Ejnar Hertzsprung (1873-1967) que utilizou a relação Período-luminosidade pela primeira vez, segundo Edwin Hubble (1889-1953). Hertzsprung reconheceu imediatamente a importância da descoberta de Leavitt, e sendo assim ele a utilizou e determinou a distância de 13 Cefeidas [...] Outros astrônomos também desenvolveram seus trabalhos com o auxílio desta Relação, podemos citar Harlow Shapley que a utilizou para estudar as Cefeidas e Hubble que conseguiu medir a distância da Grande Nebulosa de Andrômeda.”

O trabalho de Leavitt foi fundamental para que Edwin Hubble, posteriormente, provasse que o universo estava se expandindo, levando à formulação da teoria do Big Bang. Henrietta Swan Leavitt, portanto, desempenhou um papel vital no desenvolvimento da astronomia moderna.

### **3.7 Albert Einstein**

Albert Einstein nasceu em 1879 no Reino de Württemberg, no Império Alemão. Desde cedo demonstrou grande curiosidade pela Matemática e a Física.

Ao contrário da lenda, Einstein foi bom aluno na escola, mas somente nas áreas que lhe interessavam, como matemática e ciências. O sistema escolar alemão encorajava os alunos a dar respostas curtas baseadas na decoreba — senão eram punidos com tapas dolorosos nos nós dos dedos. O jovem Albert, porém, falava devagar, hesitantemente, escolhendo com cuidado as palavras. Estava longe de ser o aluno perfeito, aborrecendo-se sob um sistema sufocante e autoritário que esmagava a criatividade e a imaginação, substituindo-as por rotinas embotadoras da mente. (Kaku, 2005, p. 17).

Em 1896, ingressou no Instituto Federal de Tecnologia (ETH), em Zurique, onde se formou em 1900, obtendo seu diploma de professor de Ciências. Corroborando com esta perspectiva, Kaku (2005, p. 21) acrescenta que:

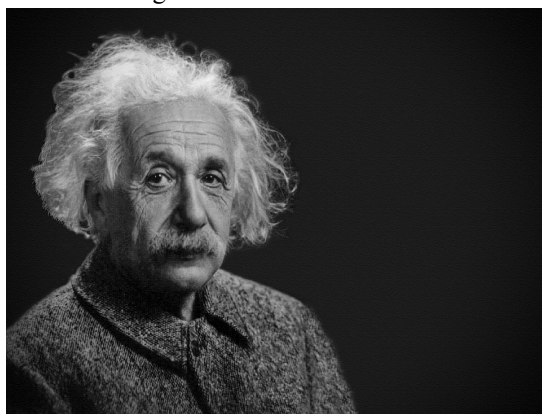
Albert concordou em ingressar no famoso Instituto Politécnico de Zurique, na Suíça, embora fosse dois anos mais novo que a maioria dos alunos que estava fazendo a prova de seleção. A vantagem era que a Politécnica não exigia diploma de nível secundário. Bastava ser aprovado na difícil prova de seleção. Infelizmente, Einstein não passou na prova. Foi reprovado em francês, química e biologia, mas teve desempenho tão bom em matemática e física que impressionou o diretor Albin Herzog. Este prometeu admiti-lo no ano seguinte, sem que Albert precisasse repetir o temido exame.

Em 1905 Einstein concluiu sua tese de doutorado, onde descreveu um método teórico para dimensões moleculares serem determinadas e o número de Avogadro. Após receber seu grau de doutor, Einstein também publicou outros quatro artigos. Segundo Pires (2011), “primeiro sobre o efeito fotoelétrico, o segundo explicava o movimento browniano fornecendo uma evidência direta para a existência dos átomos. Os outros dois eram sobre a Teoria da Relatividade Restrita.”

De acordo com Neto (2016, p. 17):

Em 1905, em sua Teoria da Relatividade Restrita, Einstein cria alguns postulados, dentre os quais a velocidade da luz é absoluta. Tais afirmações quebram com a mecânica newtoniana e, sobretudo, com o senso comum. Os conceitos referentes a essas grandezas estavam enraizados na sociedade e Einstein prova que distância e tempo não eram definidos corretamente pela ciência.

Figura 17 – Albert Einstein.



Fonte: Wallpaper Flare, 2024.

Em suas teorias, Einstein utilizou diversos métodos matemáticos, no entanto o uso da geometria diferencial e do cálculo tensorial para criar a Teoria da Relatividade Geral foi um dos mais notáveis. Para explicar como a gravidade não é uma força tradicional, mas sim a

curvatura do espaço-tempo, foi necessário usar o cálculo tensorial, uma ferramenta avançada da geometria e da álgebra linear. Para melhor compreensão desses conceitos, ele obteve a colaboração do matemático Marcel Grossman.

Nos anos que se passaram, entre 1910 e 1922, Albert Einstein foi indicado para o Nobel. Conforme corrobora Pires (2011, p. 302):

De início, pela Teoria da Relatividade Restrita, mas em 1917 e 1918 foram incluídos na indicação a Relatividade Geral e trabalhos em Física Quântica. Em 1921, além dos itens anteriores foram incluídos o movimento browniano e o efeito fotoelétrico. Uma das alegações do comitê para a recusa do prêmio era que mais evidências se faziam necessárias antes que a Teoria da Relatividade pudesse ser considerada uma teoria válida. Finalmente, em 1922, ele recebeu o prêmio pelo efeito fotoelétrico.

Devido à ascensão repentina dos nazistas ao poder, Einstein foi compelido a se mudar para os Estados Unidos, estabelecendo-se em Princeton, uma vez que a situação na Alemanha se tornara insustentável naquele período. Ele faleceu em abril de 1955.

### 3.8 Nancy Grace Roman

Nancy Grace Roman nascida em 1925, foi uma renomada astrônoma americana que teve um papel fundamental no progresso da astronomia espacial. Frequentemente associada à "mãe do Telescópio Espacial Hubble". Ela foi pioneira ao se tornar a primeira mulher a ocupar um cargo executivo na NASA, onde atuou como Chefe de Astronomia e Relatividade no Escritório de Ciências Espaciais, contribuindo de maneira significativa para o desenvolvimento e implementação de missões astronômicas espaciais.

Figura 18 – Nancy Grace Roman.



Fonte: Wikipédia, 2024.

Sua contribuição mais significativa foi a defesa e o planejamento de telescópios espaciais, capazes de observar o universo sem as distorções introduzidas pela atmosfera terrestre. Roman desempenhou um papel essencial na concepção e desenvolvimento do Telescópio Espacial Hubble, que foi lançado em 1990. Esse telescópio revolucionou nossa compreensão do cosmos ao fornecer imagens de altíssima resolução e dados detalhados sobre galáxias distantes, buracos negros, exoplanetas e uma ampla gama de outros fenômenos celestes.

Para o desenvolvimento do telescópio e sua capacidade de precisão, foram necessários métodos que dependem de princípios matemáticos para mapear o movimento e a posição de corpos celestes e estrelas. Dentre estes estão: a astrometria que mede a posição, paralaxe e o movimento de objetos celestes. Esta ciência envolve a trigonometria e a paralaxe estelar. Outro método é a técnica de análise de dados astronômicos que compreende assuntos de estatística avançada e cálculos orbitais. Bem como o planejamento de missões espaciais, onde precisou-se da contribuição da física matemática, que utiliza a óptica geométrica e a física ondulatória.

Um exemplo de uma aplicação óptica é o chamado telescópio de reflexão. É constituído basicamente por dois espelhos, um maior, chamado primário, que é parabólico, e outro menor, que é hiperbólico.[...] Quando os raios de luz se reflectem no espelho parabólico são dirigidos para o foco, pela propriedade de reflexão da parábola. Como este também é foco da hipérbole, pela propriedade de reflexão desta os raios de luz reflectem-se no espelho hiperbólico e seguem em direcção ao outro foco da hipérbole. (Queiró, 2010, p. 5).

Queiró (2010, p. 5) também ressalta que:

O telescópio Hubble (em órbita desde 1990 a 600 km da Terra), que se baseia nestas propriedades de reflexão. O seu espelho primário tem 2.4 metros de diâmetro. Como está fora da atmosfera, as imagens que o telescópio Hubble recolhe do espaço são muito mais claras e rigorosas do que as recebidas pelos telescópios utilizados no solo, pois os raios de luz não são absorvidos nem distorcidos pela atmosfera.

Roman também liderou outros programas de observação espacial e foi uma forte defensora da educação em ciências e da inclusão de mulheres na astronomia e nas ciências em geral. Seu legado continua a influenciar a pesquisa astronômica e a inspirar novas gerações de cientistas.

### 3.9 Vera Rubin

Vera Rubin nasceu no ano de 1928 e desenvolveu um interesse precoce pela astronomia. Ela foi uma das poucas mulheres de sua época a buscar uma carreira em ciências. Vera Rubin foi uma astrônoma americana cujo trabalho revolucionou o entendimento da composição do universo, especialmente na área de matéria escura. Rubin obteve seu doutorado em 1954 na Universidade de Georgetown, onde começou a estudar a rotação de galáxias.

Figura 19 – Vera Rubin.



Fonte: ThoughtCo, 2024.

Antes dos estudos de Vera Rubin, era consenso entre os astrônomos que a maior parte da massa de uma galáxia se concentrava em suas regiões centrais, onde a densidade de estrelas e a presença de gás brilhante eram mais pronunciadas. De acordo com Medeiros (2024, p. 28):

No ano de 1962, a astrônoma Vera Cooper Rubin, em seu artigo para o periódico científico *The Astronomical Journal*, divulgou como resultado da sua pesquisa sobre a dinâmica estelar que a mais de vinte e seis mil anos-luz do centro da nossa galáxia, aproximadamente a distância que o Sol está localizado, a curva de rotação era praticamente plana, apontando que “A diminuição na velocidade de rotação esperada para as órbitas Keplerianas não foi encontrada. É mostrado que erros sistemáticos de observação não serão responsáveis pelo formato da curva.” (Rubin et al., 1962, p. 530). Vera Rubin calculou que as estrelas da Via Láctea pareciam se mover mais

rápido do que é determinado pela Lei da Gravitação de Newton. Essa constatação não teve grande impacto na época e após a publicação em artigo alguns astrônomos contestaram que o resultado não podia estar correto ou que os dados não eram suficientemente bons para fazer a afirmação (Rubin, 2011).

Na década de 1970, Vera Rubin, junto com o astrônomo Kent Ford, mediu as velocidades de rotação de estrelas em galáxias espirais. Estudando galáxias como a de Andrômeda, eles descobriram que as estrelas nas bordas da galáxia não desaceleravam, como esperado, mas mantinham velocidades altas e constantes, independentemente da distância do centro.

Em 1968, Vera Rubin e o físico e astrônomo Kent Ford conseguiram traçar uma curva de rotação da galáxia M31, [...] concluíram que a curva de rotação para a galáxia era plana longe do seu núcleo, não havendo qualquer sinal de que as velocidades radiais diminuíssem com a distância, [...] No centro da galáxia M31, a curva de velocidade de rotação sobe abruptamente até um máximo de 225 km/s (eixo vertical esquerdo no gráfico) ao longo de 0,4 kpc (ou 1.300 anos-luz, eixo horizontal superior no gráfico), caindo em seguida para um mínimo próximo de 2 kpc (6.500 anos-luz) [...] Após o valor mínimo de 2 kpc, a curva de rotação sobe continuamente em direção a um máximo para a velocidade em 9 kpc, atingindo 270 km/s, para então decrescer durante algum tempo e permanecer plana com 250 km/s em 24 kpc, valor limite para a distância do conjunto de dados disponível. (Medeiros, 2024, p. 30).

Mais tarde, novas observações foram feitas por Rubin. Segundo Medeiros (2024, p. 35):

Em 1980, novas observações realizadas por Rubin e seus colaboradores, tinham como amostra 21 galáxias do tipo Sc. Vera Rubin e Kent Ford foram pioneiros na investigação das regiões exteriores e da dinâmica da maioria dessas galáxias, assim como na publicação de um estudo sistemático das suas curvas de rotação.

Além de suas contribuições científicas, Rubin foi uma defensora incansável das mulheres na ciência, inspirando e abrindo portas para futuras gerações de cientistas femininas.

### **3.10 Katherine Bouman**

Katherine Bouman nasceu em 1989 na cidade de West Lafayette, no estado de Indiana, nos Estados Unidos. Bourman é uma cientista da computação e professora cujo principal trabalho em sua carreira envolveu a obtenção da primeira imagem direta de um buraco negro. Ela desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento do algoritmo de reconstrução de imagem utilizado pelo projeto Event Horizon Telescope (EHT), uma colaboração

internacional que integrou dados coletados por múltiplos radiotelescópios distribuídos globalmente.

Figura 20 – Katherine Bouman.



Fonte: The Telegraph, 2024.

Esse esforço resultou na captura da imagem do buraco negro supermassivo localizado no centro da galáxia M87, divulgada em abril de 2019. De acordo com Akiyama (2019, *apud* SALDANHA *et al.* 2022, p. 56):

Foi desenvolvido um sistema onde são espalhados diversos radiotelescópios pelo planeta para formar um telescópio virtual com o tamanho da Terra, que o deixa com um alcance enorme. Após isso, é utilizado um algoritmo para comparar as imagens obtidas. Katherine Louise Bouman foi responsável pela liderança e desenvolvimento do algoritmo responsável pelo cruzamento e correção dos dados obtidos, isto é, o algoritmo CHIRP. Nele é utilizado um sistema que compara as imagens e verifica a possibilidade de serem buracos negros, após isso, as imagens selecionadas são quebradas e divididas para serem analisadas sistematicamente com um banco de dados que foi criado pelos cientistas a fim de selecionar as imagens mais aceitáveis.

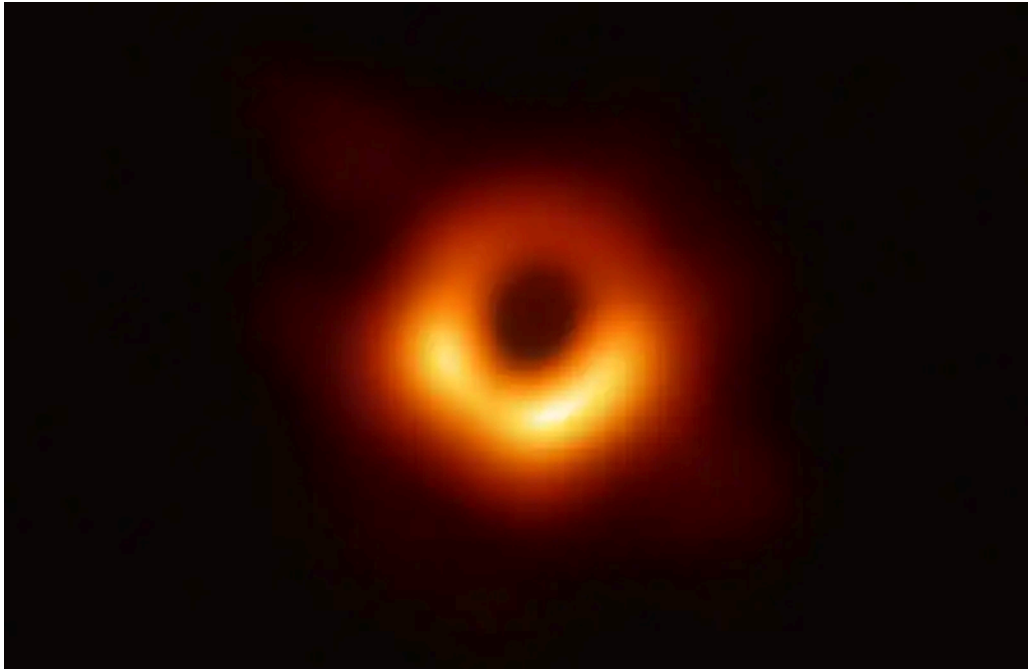
Para criar a primeira imagem do buraco negro, Bouman e sua equipe utilizaram o método matemático de reconstrução de imagem e interferometria de base muito longa (VLBI). Corroborando com esta ideia, Saldanha *et al.* (2022, p. 61) acrescenta que:

O algoritmo compara várias imagens a fim de selecionar a mais aceitável. Para isso, o algoritmo divide as imagens em grupos que irão classificar se os objetos podem ser buracos negros, ou não. Após isso, essas imagens serão divididas pelo algoritmo para serem comparadas com uma base de dados que foi criada pelos pesquisadores (WALL, 2019). Assim, o CHIRP pode ser definido como um método de reconstrução de imagem interferométrica que divide as imagens em fragmentos de pixels e modela a estrutura de blocos de construção de diferentes tipos de imagens. [...] Especificamente, as contribuições do algoritmo estão em uma aproximação de modelo avançada aprimorada que simula com mais precisão as medições de

frequência espacial e uma formulação mais simples de um problema de otimização estratégica para simular os efeitos do ruído atmosférico em dados VLBI.

O algoritmo desenvolvido permitiu, portanto, processar e integrar vastas quantidades de dados coletados, transformando-os na icônica imagem do buraco negro. Essa conquista confirmou previsões da teoria da relatividade geral de Albert Einstein.

Figura 21 – Imagem do buraco Negro.



Fonte: The Telegraph, 2024.

A contribuição de Bouman foi amplamente reconhecida como um avanço significativo no campo da astrofísica e da astronomia, destacando a importância da interdisciplinaridade, entre matemática, ciência da computação e astronomia.

## 4 ALGUNS MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS À ASTRONOMIA

Neste capítulo serão detalhados três exemplos de conhecimentos astronômicos que foram desenvolvidos com base em princípios matemáticos. O primeiro refere-se ao problema de medir-se a distância entre a Terra e a Lua, o segundo abordará as Leis de Kepler e o terceiro será um estudo sobre a descoberta do planeta Netuno, um dos planetas mais externos do nosso sistema solar.

### 4.1 Método para determinar a distância da Terra à Lua

Hiparco de Nicéia, ainda antes da Era Comum, foi o primeiro astrônomo a conseguir calcular a distância da Terra à Lua, utilizando métodos geométricos baseados em observações de eclipses lunares e solares para estimar essa distância. Embora os métodos de Hiparco não tenham sido perfeitamente exatos, ele conseguiu obter um valor que, para a época, era surpreendentemente próximo do valor real. Ferreira (2008, p. 10) acrescenta que “Hiparco deduziu corretamente a direção dos pólos celestes, o valor de  $8/3$  para a razão entre o tamanho da sombra da Terra e o tamanho da Lua e que a Lua estava a 59 vezes o raio da Terra de distância quando o valor correto é 60.”

Figura 22 – Hiparco de Nicéia.

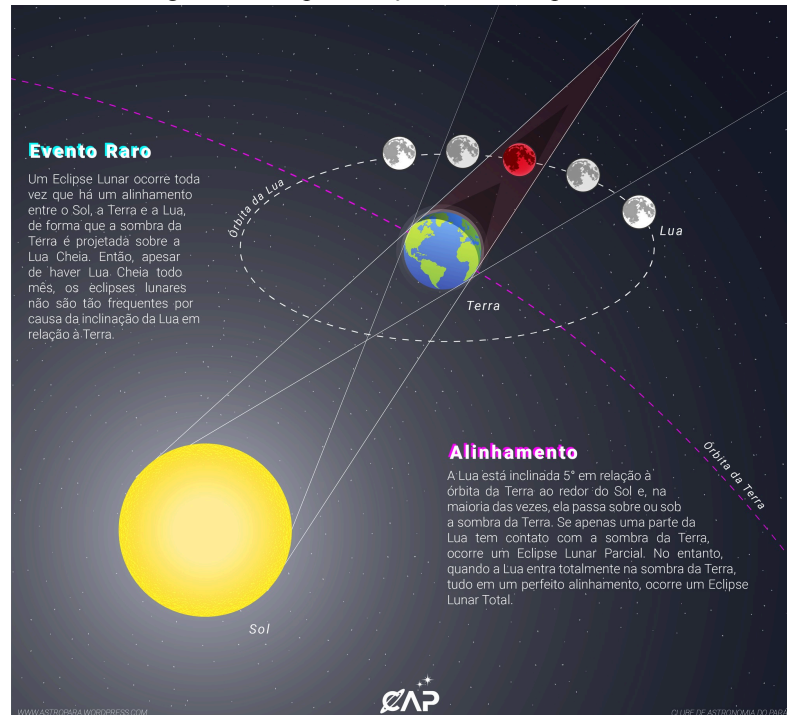


Fonte: Pinterest, 2024.

O método de Hiparco é o mais antigo dos métodos conhecidos para estimar a distância da Terra à Lua. Esse cálculo representou um avanço significativo para a ciência da antiguidade, evidenciando a habilidade dos astrônomos gregos em aplicar métodos

observacionais e princípios geométricos para compreender a estrutura e as dimensões do cosmos. Para este método, Hiparco, considerando o modelo geocêntrico vigente, primeiramente observou um eclipse lunar, projetando a sombra da Terra na Lua. Durante o fenômeno, ele notou o tamanho aparente da sombra da Terra projetada sobre a Lua.

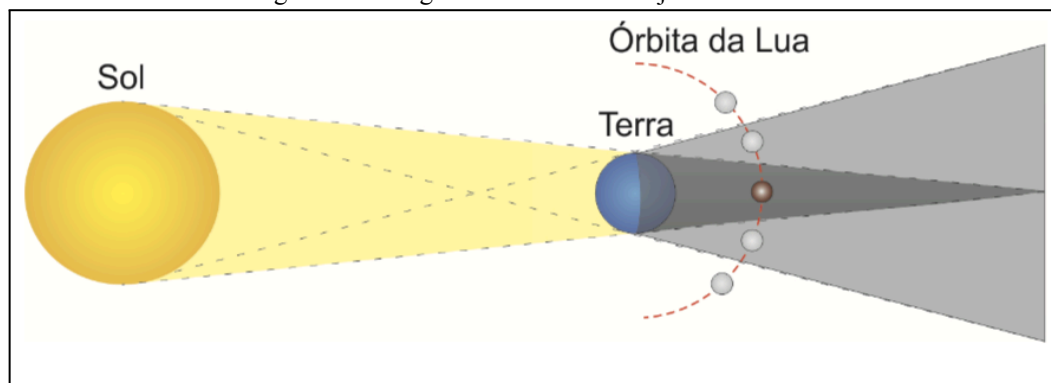
Figura 23 – Representação de um Eclipse Lunar.



Fonte: Clube de Astronomia do Pará, 2024.

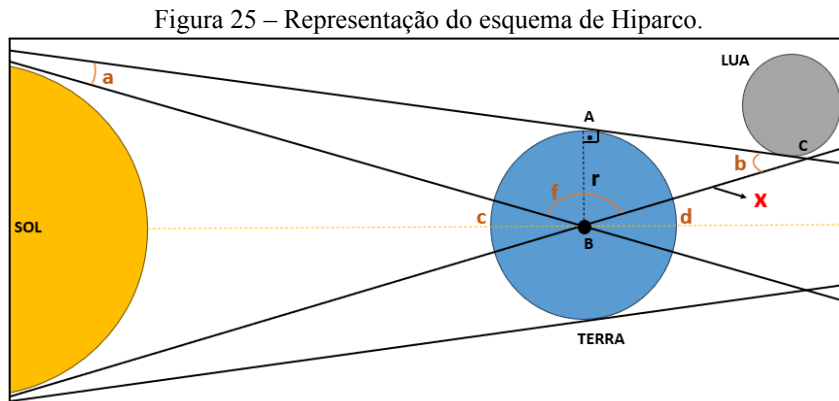
Hiparco assumiu que a Terra era aproximadamente esférica e que sua sombra projetada no espaço também teria uma forma cônica, com a base maior do cone estando na Terra, conforme mostrado na Figura 24.

Figura 24 – Diagrama mostrando a trajetória da Lua.



Fonte: Por Dentro da Ciência, 2024.

Com a finalidade de determinar a distância da Terra até a Lua, vamos calcular o valor da hipotenusa  $x$  do triângulo retângulo **ABC**. Esta hipotenusa representa a distância do raio da Terra até a Lua. Portanto, consideremos a Figura 25:



Fonte: A autora, 2024.

Nota-se que a Lua seguirá uma trajetória passando pela sombra da Terra, alinhando-se perfeitamente à Terra e ao Sol, após isso a Lua sairá do eclipse. Hiparco sabia que o tempo aproximado de duração do eclipse era de 100 minutos, bem como a duração da órbita da Lua ao redor da Terra era de 27,3 dias. A partir destas informações é possível determinar o ângulo **d** e, conseqüentemente, que a duração do eclipse será 2 vezes a medida do ângulo **d**. Aplicando uma regra de três, obtemos:

$$\begin{aligned} 2d/100 &= 360^\circ/(27,3 \times 24 \times 60) \\ 2d \times 39.312 &= 100 \times 360 \\ 2d &= 36.000/39.312 \\ d &= 0,9157509158 / 2 \\ d &\approx 0,5^\circ \end{aligned}$$

Agora precisamos calcular o valor do ângulo **b**, logo podemos relacionar os ângulos **d** e **b**. Notemos o ângulo **f**, sabendo que a soma dos ângulos internos de um triângulo é  $180^\circ$ , ao somarmos os ângulos **c**, **f** e **d** obtemos  $180^\circ$ , pois esta é a metade da circunferência. Logo obtém-se a seguinte equação:

$$\begin{aligned} a + b + f &= c + f + d \\ a + b &= c + d \\ b &= c + d \end{aligned}$$

Ao observar o ângulo **a**, como a distância da Terra até o Sol é muito grande, tem-se que o ângulo é muito pequeno. Nesse sentido, ao desconsiderá-lo podemos fazer uma

aproximação para o cálculo. Para determinar o ângulo  $c$ , basta observar o Sol,  $c$  é o semi diâmetro angular do Sol,  $c$  é aproximadamente  $0,25^\circ$ . Teremos então:

$$b = c + d$$

$$b = 0,25^\circ + 0,5^\circ$$

$$b \approx 0,75^\circ$$

Ao obtermos  $b$ , podemos utilizar o seno do ângulo  $b$  para determinar a medida da hipotenusa  $x$ . Logo, o seno de  $0,75^\circ$  será igual a razão entre o cateto oposto ao ângulo reto, portanto  $r$  (o raio da Terra) e a hipotenusa  $x$ .

$$\text{sen}(0,75^\circ) = r/x$$

$$x = r/\text{sen}(0,75^\circ)$$

$$x \approx 76.r$$

Portanto, o valor estimado da distância da Terra até a Lua é de aproximadamente 76 vezes o valor do raio da Terra. Como estes valores foram imprecisos, Hiparco determinou que o valor encontrado deveria estar entre 62 vezes o raio da Terra e 74.

$$62.r < x < 74.r$$

Considerando  $R = 6.270$  km, o valor aproximado do raio da Terra, na época estimado por Eratóstenes. Conclui-se que:

$$x = 76.r$$

$$x = 76 \cdot 6270$$

$$x \approx 476\,520 \text{ km}$$

Sabe-se que ao longo do tempo, com os avanços tecnológicos e contemporâneos, é possível determinar essa distância com extrema precisão, a partir do método *Lunar Laser Ranging* (LLR) que consiste em disparar pulsos de laser em direção à refletores retrofletivos, colocados na superfície lunar durante as missões Apollo e missões soviéticas, que funcionam como dispositivos que refletem a luz na mesma direção de onde ela veio.

Estes pulsos de laser viajam à velocidade da luz, ou seja, cerca de 300.000 km/s. Desse modo, mede-se o tempo de ida e volta dos pulsos de laser e portanto, utiliza-se a velocidade constante da luz (aproximadamente 299.792 km/s) e divide-se o tempo total por 2 para obter a distância de 384.400 km, que é a distância média precisa.

No entanto, para determinar esta distância deve-se considerar a oscilação da órbita elíptica da Lua em volta da Terra, podendo ser estimada entre 356.500 km, no perigeu (ponto mais próximo da Terra), e 406.700 km, no apogeu (ponto mais distante da Terra).

Neste exemplo, mostrou-se que mesmo conceitos de matemática elementar, como relações métricas e trigonométricas no triângulo e proporcionalidade, como regra de três, contribuíram para solucionar problemas astronômicos importantes com boa precisão na antiguidade.

## 4.2 As Leis Planetárias de Kepler

Conforme explorado anteriormente no Capítulo 3, Johannes Kepler foi o responsável pela formulação das leis do movimento planetário. Ele apresentou as suas duas primeiras leis em 1609, na obra *Astronomia Nova*, e introduziu a terceira lei em 1619, no tratado *Harmonices Mundi*.

Desde a Grécia antiga tinha-se o pensamento, sobretudo enfatizado por Platão e Aristóteles, sobre as formas perfeitas, e tudo que havia no céu seguia essa perspectiva, de forma que os corpos celestes tendessem a este fator. Nesse sentido, era difícil para os astrônomos da época adquirirem exatidão em seus modelos e estruturas, como Ptolomeu e Copérnico, mesmo já tendo teorizado o Sol como sendo o centro do Universo. Neto (2016, p. 15) acrescenta:

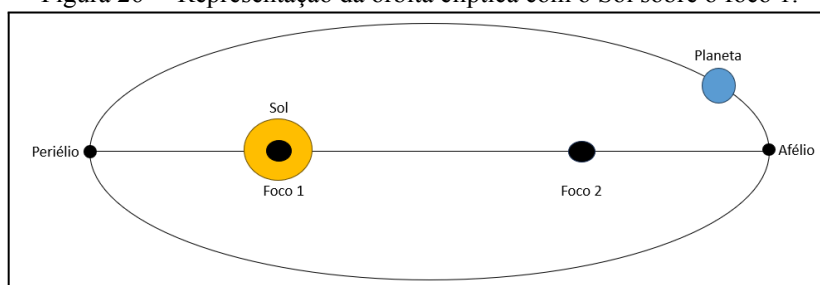
Johannes Kepler (1571 – 1630) teve boa parte de seu trabalho baseado nas observações feitas por Brahe, pois trabalhou por vários anos com ele. Em 1596 ele publicou sua primeira grande obra *Mistério cosmográfico*, 53 anos após a publicação de *Sobre as revoluções de Copérnico*, que foi a primeira defesa da teoria copernicana. Estudou profundamente o comportamento de Marte. Esse planeta possuía uma particularidade, dos planetas vistos a olho nu era aquele cuja órbita mais se desviava de um círculo.

### 4.2.1 A 1ª Lei de Kepler

A 1ª Lei de Kepler, também intitulada como Lei das Órbitas Elípticas consiste no seguinte:

*O planeta em órbita em torno do Sol descreve uma elipse em que o Sol ocupa um dos focos.*

Figura 26 – Representação da órbita elíptica com o Sol sobre o foco 1.



Fonte: A autora, 2024.

A Figura 26 representa a trajetória de um planeta em órbita elíptica, sendo o afélio o ponto mais distante do Sol, e o periélio o ponto mais próximo. Uma elipse é uma curva plana e fechada que resulta da interseção de um plano com um cone (quando o plano não é perpendicular ao eixo do cone e não passa pelo vértice). Matematicamente, uma elipse pode ser descrita como o conjunto de todos os pontos em um plano para os quais a soma das distâncias a dois pontos fixos, chamados focos, é constante.

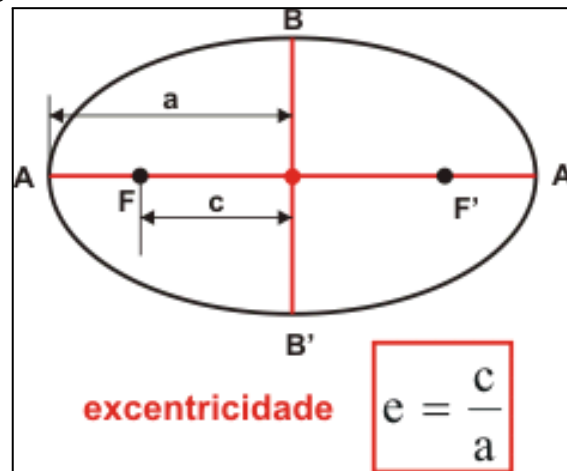
Após Tycho Brahe ter feito sua principal conquista: a formulação de um registro sistemático extremamente preciso, sobretudo de Marte. Ao falecer suas anotações foram herdadas por Kepler, que com a posse destas, conseguiu determinar que as órbitas dos planetas faziam trajetórias elípticas. Segundo Neto (2016, p. 33), sobre Johannes com a posse dos dados de Brahe:

Ele se dedicou ao estudo de Marte, pois, pelo fato de estar mais próximo ao Sol, ele se move mais rapidamente em sua órbita, voltando em menos tempo ao ponto inicial e, assim, facilitando o estudo. Além disso, ele é também o planeta cuja órbita é mais elíptica.

Ao analisar a excentricidade<sup>10</sup> das órbitas, é possível perceber que a circunferência é um caso particular da elipse, onde os focos estão no mesmo ponto. Verificando então a excentricidade das órbitas dos planetas, conclui-se que a razão entre a distância do centro da elipse ao foco ( $c$ ) e o semieixo maior ( $a$ ) não se iguala a zero, logo há uma distorção na órbita.

<sup>10</sup> Excentricidade é uma medida que descreve o grau de desvio de uma curva em relação à forma de um círculo perfeito. No caso de uma circunferência, a excentricidade é sempre igual a zero.

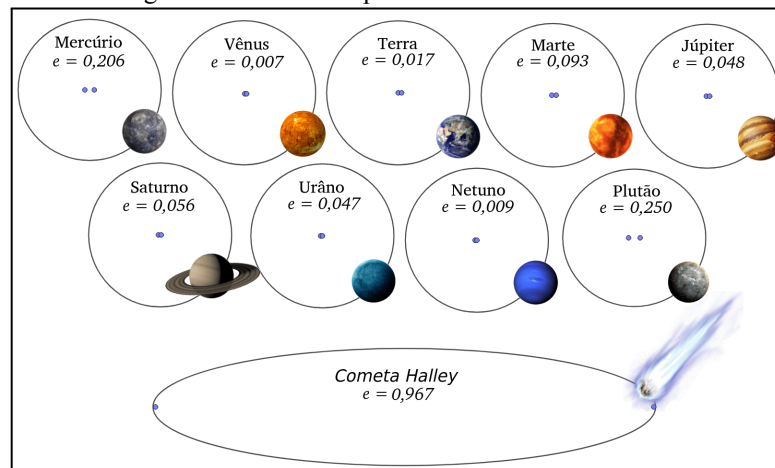
Figura 27 – Modelo do cálculo da excentricidade das órbitas.



Fonte: Espaço do Conhecimento UFMG, 2024.

Portanto quanto maior a excentricidade da órbita, mais distantes estão os focos, ou seja, terá uma distorção maior. E quanto menor a excentricidade, a órbita tende a ser mais próxima de um círculo. Tendo em vista as órbitas dos planetas do nosso sistema solar, suas excentricidades são muito pequenas, se aproximando de zero, o que determinou a dificuldade dos astrônomos de entenderem-nas como sendo elípticas.

Figura 28 – Órbitas elípticas e suas excentricidades.



Fonte: Web Física, 2024.

O cometa Halley leva 76 anos para completar uma volta. Ao passar pelo periélio atinge uma velocidade maior do que quando está no afélio, isto pode ser relacionado com a segunda lei de Kepler, a qual explica o motivo dessa variação de velocidade.

#### 4.2.2 A 2ª Lei de Kepler

A partir da primeira lei, tomando conhecimento das órbitas elípticas, Kepler pôde, perceber, ainda, outros aspectos:

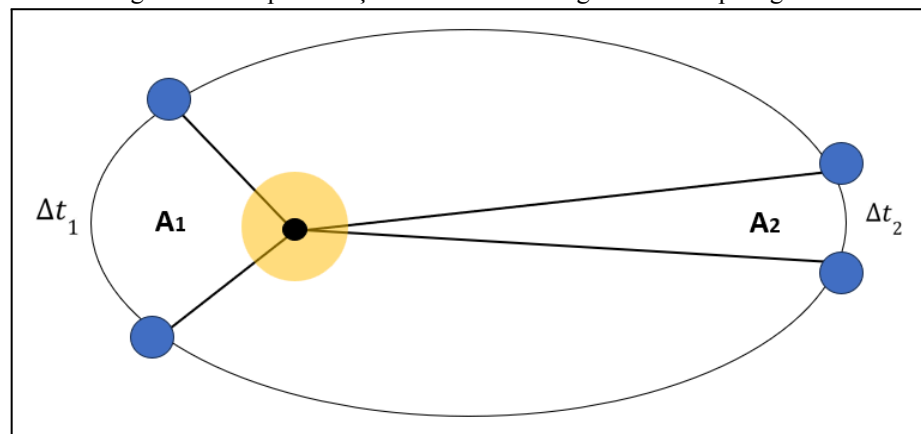
[...] enquanto o planeta se move ao longo da sua órbita, ele percorre uma pequena área em forma de cunha dentro da elipse. Quando está próximo do Sol, em um dado período de tempo, ele traça um grande arco em sua órbita, mas a área representada pelo arco não é muito grande porque o planeta está então próximo do Sol. Quando o planeta se encontra longe dele, percorre um arco muito menor no mesmo período de tempo, mas este arco corresponde a uma área maior porque o Sol está agora mais adiante. Kepler descobriu que estas duas áreas eram precisamente as mesmas, independente de quão elíptica fosse a órbita: a área comprida e estreita, correspondendo ao planeta longe do Sol, e a área mais curta e larga, quando o planeta está próximo dele, são exatamente iguais (Sagan,1980, p.62).

O que resultou na 2ª Lei de Kepler, conhecida como a Lei das áreas, que consiste em:

*Uma linha imaginária que liga um planeta ao Sol varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.*

Isso significa que os planetas se movem mais rapidamente quando estão mais próximos do Sol e mais lentamente quando estão mais distantes.

Figura 29 – Representação da lei das áreas iguais em tempos iguais.



Fonte: A autora, 2024.

Esta Lei implica que: se o intervalo de tempo em  $\Delta t_1$  for igual ao intervalo de tempo em  $\Delta t_2$ , então as áreas varridas pelo vetor ligado ao planeta são iguais. Onde a velocidade do planeta no afélio é inferior a velocidade no periélio. Esta é a chamada velocidade areolar, dada da seguinte forma:

$$v = \frac{A_1}{\Delta t_1}$$

### 4.2.3 A 3ª Lei de Kepler

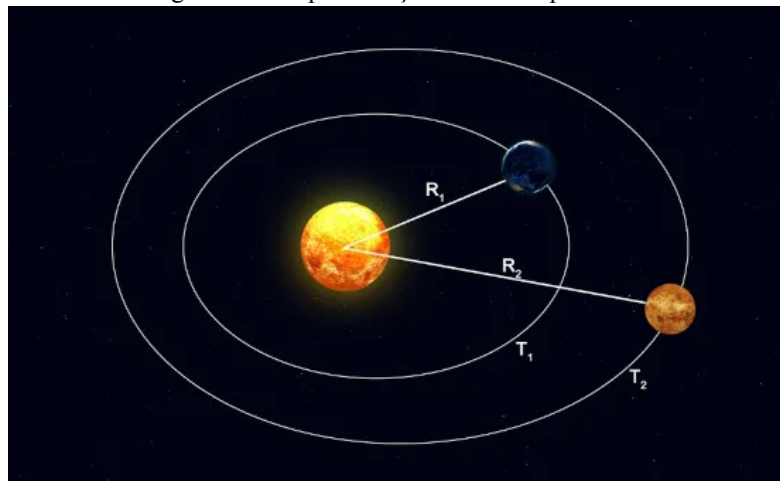
Foi somente após dez anos que Kepler formulou sua terceira Lei, a chamada Lei dos Períodos. Segundo Guimarães (2016, p. 32) esta se referia ao movimento planetário e “relacionava o movimento de vários planetas uns com os outros, que exibia, portanto, a precisão do sistema solar.”

A Lei dos Períodos diz que:

*O quadrado do período de qualquer planeta é proporcional ao cubo do semieixo maior de sua órbita.*

Nesse sentido, esta lei propõe, por exemplo, que existe uma relação entre o tempo  $T_1$  que o planeta terra leva para dar uma volta em torno do Sol e o tempo  $T_2$  que Mercúrio leva para fazer o mesmo, isto associado aos raios das suas órbitas,  $R_1$  e  $R_2$ , respectivamente.

Figura 30 – Representação da lei dos períodos.



Fonte: Prepara Enem, 2024.

Descrita da seguinte forma, onde, em termos algébricos,  $R$  é o raio orbital médio (semieixo maior) de um planeta,  $T$  é o período de revolução (tempo de uma volta orbital) e  $K$  uma constante, também chamada de constante de Kepler. Esta razão se aplica a todos os planetas do nosso sistema solar.

$$\frac{T^2}{R^3} = K$$

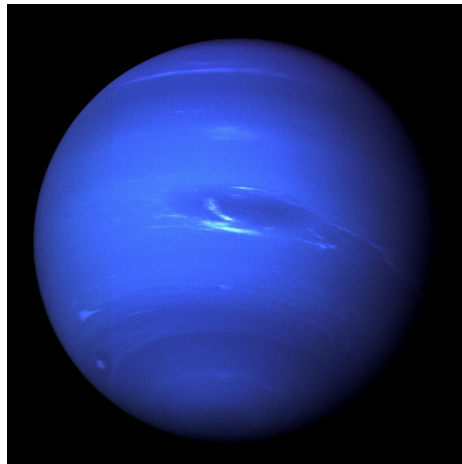
A partir desta lei pode-se concluir que os planetas que estão mais próximos do Sol terão uma velocidade maior e os que estão distantes terão uma velocidade menor.

### 4.3 A descoberta do planeta Netuno

Em 1846, em uma noite de setembro, o astrônomo Johann Gottfried Galle apontou seu telescópio para o céu e observou o planeta Netuno pela primeira vez. Foi a culminação de uma notável conquista científica. A hipótese da existência de um oitavo planeta foi formulada para explicar as anomalias observadas no movimento de Urano, que aparentava sofrer perturbações em sua órbita.

Urano não obedecia a órbita calculada matematicamente, dando início a várias suposições e teorias, que explicassem tal fenômeno. Entre as teorias estavam que Urano teria uma satélite gigante, similar a nossa Lua, outra que o ele poderia ter sido atingido por um cometa, e outra levantada pelo matemático Urban Le Verrier que poderia se tratar de um outro planeta que perturbaria a sua órbita, curiosamente Le Verrier não foi o único a suspeitar desse fato na mesma época, outro matemático John Adams realizou cálculos parecidos e previu as coordenadas de onde esse possível planeta poderia estar, sendo ignorado em seu país de origem, o oposto aconteceu com os cálculos de Le Verrier que foram testados e em 23 de setembro de 1846. (Silva et al. 2023, p. 2).

Figura 31 – Planeta Netuno.



Fonte: NASA Science, 2024.

Foi, no entanto, a partir de cálculos matemáticos que o matemático Urbain Le Verrier conseguiu indicar para que posição no céu o telescópio deveria ser apontado para encontrar o novo astro. Seu colega François Arago escreveu que Le Verrier havia encontrado Netuno na ponta de sua caneta. Malbouisson e Santana (2014, p. 10), corroboram com a relevância da Matemática nessa grande descoberta ao afirmarem que:

Sem a intervenção das equações de movimento e de métodos aproximativos para resolvê-las, a descoberta do planeta Netuno, através de puras observações, seria possivelmente complicada, se não casual, para qualquer observatório astronômico da época. Com as equações de movimento e a lei da gravitação universal, contudo, foi

possível associar as perturbações na órbita do planeta Urano com a possibilidade de existência de um novo planeta ainda não observado, Netuno.

Os astrônomos dedicaram-se a observar o movimento de Urano com o objetivo de delinear sua órbita com a maior precisão possível. No entanto, verificou-se que a posição observada do planeta não correspondia exatamente à posição prevista pelos modelos matemáticos. Essa discrepância só poderia ser explicada por um erro nos modelos ou pela hipótese de que a órbita de Urano estava sendo influenciada por outro corpo celeste situado além de sua órbita. Foi então, com uma sequência de trabalhos que Urbain Le Verrier apresenta sua estimativa de solução, em seu primeiro trabalho, de novembro de 1845, Malbouisson e Santana (2014, p. 11) afirmam que Le Verrier verifica as contribuições das perturbações causadas por Júpiter e Saturno com a finalidade de “de compará-las com observações de Paris e Greenwich. Le Verrier exclui a possibilidade de que as divergências na órbita de Urano possam ser atribuídas somente às perturbações devidas a Júpiter e Saturno.”

Essas perturbações podem ser entendidas se analisarmos o seguinte: se ao observarem o movimento de Urano, e o mesmo apresentasse regularidade quanto às regras da gravidade, logicamente sua órbita deveria ser previsível se estivesse sendo somente influenciada pelo Sol e pelos planetas conhecidos da época. No entanto, os astrônomos notaram que Urano não estava exatamente onde deveria estar. Às vezes um pouco atrasado, outras um pouco adiantado, como se algo estivesse o empurrando ou o puxando. Essas irregularidades no movimento do planeta são chamadas de perturbações gravitacionais.

A lei da gravitação universal de Newton estabelece que todos os corpos exercem atração mútua proporcional às suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Tendo isto em vista, os astrônomos começaram a considerar que essas irregularidades pudessem estar sendo causadas por um planeta além de Urano, que estava exercendo sua força gravitacional sobre ele, ou seja, causando pequenas variações em sua órbita e desviando-o do caminho previsto pelos cálculos.

Em seu segundo trabalho, Le Verrier propõe e exclui algumas ideias do que poderia estar causando perturbações na órbita de Urano, como resistência do Éter, a queda de um cometa sobre Urano ou um satélite que o acompanhasse. Nesse sentido, Malbouisson e Santana (2014, p. 10) esclarecem:

A possibilidade de variação da lei da gravitação universal, face à grande distância de Urano do Sol, hipótese também aventada a época para a explicação dos fatos, e descartada por Le Verrier, que conduz então sua linha de análise para a ação de um outro corpo agindo continuamente sobre Urano e mudando seu movimento de

maneira muito lenta. Após uma outra sequência de análises ele formula o problema que irá resolver. Ao final deste trabalho é apresentada a longitude heliocêntrica deste possível novo planeta, que seria, em 1 de janeiro de 1847, 325 graus.

No terceiro trabalho, no dia 31 de agosto de 1846, Le Verrier encaminha algumas informações, comunicando à Academia que as possíveis anomalias de Urano podiam ser explicadas considerando a força gravitacional de um novo corpo celeste localizado para além da órbita de Urano. Le Verrier apresenta:

sobre a metodologia empregada para construir e resolver as equações de condição, sete delas obtidas a partir de dezenove observações do período 1690-1771 e vinte e seis a partir de duzentas e sessenta e duas observações do período entre 1781-1845, e apresenta os seus resultados para os elementos da órbita do novo planeta: semi-eixo maior da órbita, 36,154; Ano solar, 217 ans ,387; Excentricidade, 0,10761; Longitude do Periélio, 284°45'; Longitude média em 1 de janeiro de 1847, ' 318°47'; Massa, 1/9300. Corrige também a longitude heliocêntrica para 1 de janeiro de 1847, prevista no artigo anterior, de 325° para 326°32 com uma distância ao Sol de 33,06. Observa que o momento é oportuno para a descoberta do planeta. Analisa então a questão da visibilidade do astro, avaliando, comparativamente a dados de Urano, que o seu diâmetro seria de 3",3 e teria um brilho que permitiria ser visto nos telescópios já existentes. Segue analisando os limites dos seus resultados e ao final mostra a concordância das posições calculadas com a sua teoria, com as posições conhecidas das observações astronômicas desde 1690 até as mais recentes de 1845. (Malbouisson e Santana, 2014, p. 10).

Em 23 de setembro de 1846, após 5 dias do envio da carta de Le Verrier, no mesmo dia após recebê-la com os resultados de seus trabalhos e a solicitação da localização do planeta, Johann Galle e seu assistente D'Arrest, do observatório de Berlim, logo encontram um astro na oitava posição das órbitas, próximo do local indicado por Le Verrier, desconhecido ainda dos catálogos celestes. Os observatórios Europeus confirmaram as observações de Galle, segundo Malbouisson e Santana (2014, p. 11), “os resultados teóricos de Le Verrier haviam sido encontrados em data próxima anterior, de modo independente, por Adams”. Um fato interessante é que:

Galileu observou Neptuno, em 1613 (três anos depois de ter observado os satélites de Júpiter), tendo observado, em duas noites consecutivas, que este se movia ligeiramente em relação a uma estrela próxima. Nos dias seguintes, Neptuno já estava fora do seu campo de vista e nos dias anteriores os céus de Pisa tinham estado enevoados. Assim, Galileu classificou-o como uma estrela. Muito mais tarde, em meados do séc. XIX, verificou-se que a órbita de Úrano não estava inteiramente de acordo com as leis de Newton e Kepler. Adams e Le Verrier predisseram, independentemente, que deveria haver um outro planeta, mais afastado do Sol, a perturbar a órbita de Úrano. Com base nos seus cálculos, Galle e d'Arrest localizaram Neptuno, na noite de 23 de Setembro de 1846. Mas hoje sabe-se que as órbitas calculadas por Adams e Le Verrier divergiam rapidamente, ou seja, se as observações de Galle e d'Arrest tivessem sido feitas alguns anos antes ou depois de 1846 não teriam encontrado o planeta. Não obstante, a descoberta do planeta

Neptuno e mostrou claramente que nas mãos dos especialistas a combinação da Astronomia com a Matemática pode ser uma ferramenta com grande poder.(Gonçalves et al. 2007, p. 8).

A descoberta de Netuno com base em cálculos matemáticos foi uma confirmação notável da validade das leis da gravitação de Newton. Também foi um marco na astronomia, mostrando que os cálculos teóricos podiam ser usados para descobrir novos objetos celestes, mesmo sem observação direta anterior. De acordo com Malbouisson e Santana (2014, p. 12) “Esta descoberta foi considerada uma das mais importantes realizações da mecânica clássica até então e a mais importante descoberta planetária, por ser uma previsão teórica a partir das equações de movimento e da lei da gravitação”.

Netuno, o gigante e gasoso, é o oitavo planeta do Sistema Solar e considerado o mais distante desde a reclassificação de Plutão como planeta anão. Localizado a aproximadamente 4,5 bilhões de quilômetros do Sol, Netuno possui um diâmetro cerca de quatro vezes maior que o da Terra. Contudo, devido à sua grande distância, o planeta não é visível a olho nu a partir da Terra.

## 5 A MATEMÁTICA E A ASTRONOMIA NA PERSPECTIVA DA BNCC

Aplicando-se exclusivamente à educação escolar, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento normativo que estrutura um conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens fundamentais que todos os estudantes devem desenvolver ao longo da Educação Básica. Dessa forma, este documento reconhece que por meio da educação o indivíduo possa ter uma formação integral.

Nesse sentido, espera-se que a BNCC ajude a superar a fragmentação das políticas educacionais, enseje o fortalecimento do regime de colaboração entre as três esferas de governo e seja balizadora da qualidade da educação. Assim, para além da garantia de acesso e permanência na escola, é necessário que sistemas, redes e escolas garantam um patamar comum de aprendizagens a todos os estudantes, tarefa para a qual a BNCC é instrumento fundamental. (Brasil, 2018, p. 8).

O documento ainda ressalta que “ao longo da Educação Básica, as aprendizagens essenciais definidas na BNCC devem concorrer para assegurar aos estudantes o desenvolvimento de dez **competências gerais**” que fundamentam os direitos de desenvolvimento e aprendizagem. Portanto, a elaboração da cartilha didática segue as orientações da BNCC, sendo um material que atende as competências gerais da educação básica do documento, dentre as quais estão:

- Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.
- Utilizar diferentes linguagens – verbal (oral ou visual-motora, como Libras, e escrita), corporal, visual, sonora e digital –, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo.

A BNCC organiza a área de Matemática e suas Tecnologias no Ensino Médio a partir da consolidação dos conhecimentos construídos no Ensino Fundamental. O objetivo é aprimorar e aprofundar as aprendizagens essenciais já trabalhadas na etapa anterior, estruturadas nas unidades temáticas: Números, Álgebra, Geometria, Grandezas e Medidas, Probabilidade e Estatística.

Entre as especificidades que caracterizam essa área do conhecimento, destaca-se a possibilidade de estabelecer relações entre a Matemática e situações do cotidiano, evidenciando sua presença na realidade e sua utilidade prática, ainda que sob uma perspectiva teórica. Nesse sentido, a BNCC enfatiza:

Da mesma forma que na fase anterior, a aprendizagem em Matemática no Ensino Fundamental – Anos Finais também está intrinsecamente relacionada à apreensão de significados dos objetos matemáticos. Esses significados resultam das conexões que os alunos estabelecem entre os objetos e seu cotidiano, entre eles e os diferentes temas matemáticos e, por fim, entre eles e os demais componentes curriculares. (Brasil, 2018, p. 296).

A Astronomia não é apresentada na BNCC como uma área específica do conhecimento, mas sim articulada às áreas de Matemática e de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, especialmente no componente de Física, no qual diversos conceitos astronômicos são mobilizados para a explicação de fenômenos físicos. Contudo, este trabalho busca evidenciar que a Astronomia pode constituir-se como um recurso didático atrativo para a compreensão e o aprofundamento de determinados conceitos matemáticos. Nesse sentido, em consonância com esta pesquisa, a BNCC dispõe, na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, que:

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, p. 319).

A relação entre essas áreas do conhecimento também se evidencia pelo fato de que, ao abordar conteúdos de Astronomia, a Matemática encontra-se implicitamente presente. Na unidade temática “Terra e Universo”, busca-se promover a compreensão sobre os corpos celestes, abrangendo sua formação, localização, movimentos, dimensões e as forças que atuam sobre eles.

Ampliam-se experiências de observação do céu, do planeta Terra, particularmente das zonas habitadas pelo ser humano e demais seres vivos, bem como de observação dos principais fenômenos celestes. Além disso, ao salientar 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, explora-se a riqueza envolvida nesses conhecimentos, o que permite, entre outras coisas, maior valorização de outras formas de conceber o mundo, como os conhecimentos próprios dos povos indígenas originários. (Brasil, 2018, p. 326).

Compreender conceitos matemáticos a partir dos conteúdos astronômicos constitui uma forma de aprofundar simultaneamente ambas as áreas, possibilitando uma visão mais ampla sobre os fenômenos científicos. A BNCC ressalta que, ao se aprofundar no estudo da Astronomia, as experiências básicas relacionadas ao espaço tornam-se concretas quando os modelos são testados para sustentar hipóteses científicas discutidas ao longo da história. Nessa perspectiva, a cartilha didática proposta busca articular tais conteúdos de modo que o estudo matemático ganhe significado por meio da Astronomia, favorecendo a construção do conhecimento e o desenvolvimento do pensamento científico dos estudantes.

O conhecimento espacial é ampliado e aprofundado por meio da articulação entre os conhecimentos e as experiências de observação vivenciadas nos anos iniciais, por um lado, e os modelos explicativos desenvolvidos pela ciência, por outro. Dessa forma, privilegia-se, com base em modelos, a explicação de vários fenômenos envolvendo os astros Terra, Lua e Sol, de modo a fundamentar a compreensão da controvérsia histórica entre as visões geocêntrica e heliocêntrica. (Brasil, 2018, p. 327).

Diante do exposto, percebe-se que a BNCC reconhece a relevância da integração entre diferentes áreas do conhecimento, destacando a Astronomia como um campo fértil para o desenvolvimento de habilidades científicas e matemáticas de forma interdisciplinar. Essa articulação possibilita não apenas a ampliação da compreensão dos fenômenos naturais e históricos, mas também a atribuição de sentido aos conceitos matemáticos trabalhados em sala de aula. Nesse contexto, a elaboração da cartilha didática proposta neste trabalho busca alinhar-se às orientações da BNCC, oferecendo aos estudantes uma abordagem que favorece a aprendizagem significativa por meio da relação entre Matemática e Astronomia.

## 6 METODOLOGIA

Neste capítulo trataremos da metodologia deste trabalho, em que serão relatados os processos metodológicos desta pesquisa, pontuando o tipo de pesquisa, as atividades desenvolvidas, culminando na elaboração de uma cartilha didática sobre o tema deste trabalho. Praça (2015, p. 73) afirma que

A metodologia científica é capaz de proporcionar uma compreensão e análise do mundo através da construção do conhecimento. O conhecimento só acontece quando o estudante transita pelos caminhos do saber, tendo como protagonismo deste processo o conjunto ensino/aprendizagem. Pode-se relacionar então metodologia com o “caminho de estudo a ser percorrido” e ciência com “o saber alcançado”.

### 6.1 Tipo de pesquisa

Conforme as características deste trabalho, seus procedimentos o classificam como uma pesquisa bibliográfica, que é aquela que toma por base materiais já elaborados sobre o tema a ser pesquisado, como por exemplo, livros, dissertações, artigos, monografias, etc. Para Silva *et. al.*(2021, p. 66) “A pesquisa baseia-se no estudo da teoria já publicada, assim é fundamental que o pesquisador se aproprie no domínio da leitura do conhecimento e sistematize todo o material que está sendo analisado”. De acordo com Fonseca (2002, p. 32) a pesquisa bibliográfica é desenvolvida

[...] a partir do levantamento de referências teóricas. 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.

A elaboração deste trabalho teve início com pesquisas exploratórias em sites, com o objetivo de compreender melhor o tema e delinear uma estrutura preliminar dos conteúdos a serem aprofundados. Posteriormente, foram consultados repositórios acadêmicos, bibliotecas e leituras recomendadas pela orientação, a fim de reunir referências teóricas consistentes e ampliar o conhecimento sobre o assunto. Após um período de leituras, pesquisas e estudos, a redação do trabalho foi iniciada. Nesse processo, a autora foi significativamente influenciada por dissertações que tratam da Astronomia, cuja elegância estrutural inspirou a definição da organização dos capítulos desta pesquisa.

Na etapa inicial da escrita, foram selecionados textos com forte caráter histórico, que apresentavam os conceitos relacionados ao surgimento das ciências e ao processo gradual de sua consolidação. Esses materiais contemplavam informações sobre civilizações da Antiguidade, seus modos de pensamento e o funcionamento das sociedades à luz dos conhecimentos disponíveis em cada período. Ao longo da redação e dos estudos, delineou-se mais claramente a continuidade da pesquisa. Embora parte da estrutura organizacional já estivesse definida, grande parte do referencial teórico foi reescrita e revisada diversas vezes, de modo a atender aos objetivos estabelecidos para o trabalho.

Dos métodos de abordagem, este trabalho refere-se a uma pesquisa qualitativa. Esta é definida principalmente por enfatizar a interpretação dos significados e contexto, sendo assim este método investiga a compreensão detalhada e profunda de fenômenos complexos, em particular, aqueles que dizem respeito às experiências humanas. Para Prodanov e Freitas (2013, p. 70), do ponto de vista da forma de abordagem, a pesquisa qualitativa:

considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Esta não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas.

Quanto aos objetivos, esta pesquisa é definida como sendo de natureza exploratória, uma vez que corresponde à finalidade de familiarizar o pesquisador com o tema abordado, para aprimorar as suas ideias. Sobre o conceito de pesquisa exploratória Prodanov e Freitas (2013, p. 52) ressaltam:

quando a pesquisa se encontra na fase preliminar, tem como finalidade proporcionar mais informações sobre o assunto que vamos investigar, possibilitando sua definição e seu delineamento, isto é, facilitar a delimitação do tema da pesquisa; orientar a fixação dos objetivos e a formulação das hipóteses ou descobrir um novo tipo de enfoque para o assunto.

## **6.2 Proposta de elaboração de uma cartilha didática**

De acordo com o levantamento bibliográfico deste trabalho, pretendeu-se utilizá-lo como base para a elaboração de uma cartilha didática, cuja finalidade assemelha-se a um manual ou guia introdutório sobre um determinado tema. A cartilha é geralmente desenvolvida para ser empregada no ensino de conceitos básicos de uma forma mais simples

e acessível ao leitor, sendo o seu conteúdo sistematizado e organizado de maneira lógica, utilizando uma linguagem simples e de fácil compreensão. De acordo com Leite (2018, p. 6):

Acreditando que a Astronomia não deve ser ensinada somente por textos e figuras presentes nos livros didáticos, havendo a necessidade de empregar outros recursos que auxiliem no desenvolvimento cognitivo dos estudantes sobre conceitos considerados abstratos no ensino de astronomia, de forma que os conceitos alternativos não predominem sobre os conhecimentos científicos.

Os tópicos principais abordados na cartilha, foram definidos com base no referencial teórico deste trabalho, explorando os capítulos em resumos bem articulados e visualmente atrativos, de forma que o leitor se aproprie das informações, sem necessariamente aprofundar-se muito no assunto. Nesse sentido, a linguagem de abordagem dos conceitos será simplificada sempre que necessário, com o objetivo de facilitar a compreensão do leitor, pois, como ressalta Leite (2018, p. 12):

Neste contexto, o professor deve facilitar a compreensão de seus alunos observando a necessidade de elaborar ou mostrar modelos válidos para abordar o tema de astronomia, pois os aspectos relacionados ao Universo não permitem seu acesso físico por serem muito distantes. Os professores devem considerar que nem sempre os estudantes conseguem entender as relações espaciais como eles próprios conseguem enxergar de forma clara.

O tema deste trabalho contempla ainda uma das competências específicas associada à BNCC, que estrutura os conteúdos e processos para o desenvolvimento educacional. Segundo a BNCC para o Ensino Médio (BRASIL, 2018, p. 539) esta competência consiste em: “Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis”. Sobre este enfoque, a BNCC ressalta:

Ao reconhecerem que os processos de transformação e evolução permeiam a natureza e ocorrem das moléculas às estrelas em diferentes escalas de tempo, os estudantes têm a oportunidade de elaborar reflexões que situem a humanidade e o planeta Terra na história do Universo, bem como inteirar-se da evolução histórica dos conceitos e das diferentes interpretações e controvérsias envolvidas nessa construção. (Brasil, 2018, p. 542).

Contudo, assuntos que abordam conhecimentos de Astronomia na educação básica, embora já façam parte da estrutura curricular, como é bem estipulado pela BNCC, ainda é

importante investigar a prática da implementação deste conteúdo, pois geralmente é necessário abordá-lo de maneira interdisciplinar. Ribeiro (2024, p. 27) acrescenta que:

Embora esses avanços sejam significativos para a disseminação e aprofundamento dos conhecimentos de Astronomia nas escolas, é importante reconhecer que, além da abordagem dos livros didáticos sobre o tema, é necessário analisar como esses assuntos são tratados. Percebe-se que muitas vezes não há uma estratégia lúdica para facilitar a compreensão dos estudantes.

Dessa forma, podemos perceber que a criação desta cartilha proporciona um suporte, uma alternativa de material que também agrega conhecimentos de Astronomia atrelada a conteúdos de Matemática e de História, podendo ser recomendado para estudantes, professores e entusiastas do assunto. Trevisan e Lattari (2003, p. 2) ressaltam que “os conceitos de astronomia, além de serem um tema de especial motivação para os alunos (é chamativo por si mesmo), oferecem a possibilidade do uso do universo como um laboratório.”

Nesse sentido, a criação deste material possibilita um maior alcance de leitores, não estando somente restrito a um nicho de pessoas, mas também tornando-se acessível a toda a educação básica. Portanto, satisfazendo uma das finalidades desta pesquisa, que é a divulgação do conhecimento científico, sobretudo aquele relacionado com a Matemática interligada à Astronomia.

### **6.3 Descrição da estrutura organizacional da cartilha didática**

A presente cartilha foi organizada em tópicos que seguem a mesma disposição dos capítulos desta pesquisa, de modo a estabelecer uma relação direta entre ambos os materiais. Além disso, optou-se por intitular a cartilha didática com o mesmo título deste trabalho, com o objetivo de evidenciar aos leitores que ambas as produções abordam os mesmos estudos, ainda que em níveis de aprofundamento distintos. Essa escolha de organização e nomenclatura busca facilitar a compreensão dos leitores, demonstrando que, embora a cartilha apresente uma linguagem mais simplificada e didática, ela contempla e sintetiza os principais conteúdos discutidos no referencial teórico desta pesquisa, servindo como um material complementar que reforça os conhecimentos aqui desenvolvidos.

Figura 32 – Capa da cartilha didática.



Fonte: A autora, 2025.

No início de cada tópico da cartilha, são propostos diálogos direcionados aos leitores, com a finalidade de introduzir um contexto prévio e apresentar, de maneira clara, os assuntos que serão abordados em seguida. Essa estratégia visa criar um vínculo comunicativo, promovendo maior interatividade e tornando a leitura mais dinâmica e atrativa. Dessa forma, busca-se fazer com que os leitores se sintam acolhidos e acompanhados ao longo do estudo, favorecendo sua motivação, compreensão e participação.

Figura 33 – Página interativa com o leitor.



Fonte: A autora, 2025.

A estrutura está organizada em seis tópicos principais. O primeiro refere-se à introdução, que estabelece uma comunicação inicial com o leitor, apresentando brevemente a temática e expondo os objetivos, para indicar o que será desenvolvido ao longo do texto. O segundo tópico aborda as perspectivas históricas, traçando uma linha do tempo que analisa as contribuições matemáticas e astronômicas desde antes da era comum até a era moderna. O terceiro tópico apresenta dez personalidades destacadas nesta pesquisa, de forma simples e resumida, evidenciando seus respectivos trabalhos e contribuições. O quarto tópico contempla dois modelos matemáticos aplicados à astronomia, além de um estudo sobre a descoberta do planeta Netuno, sendo a linguagem adaptada para tornar o conteúdo acessível aos leitores. O quinto tópico indica opções de filmes relacionados à temática do estudo, buscando proporcionar uma interação descontraída com o leitor. Por fim, o sexto tópico apresenta as considerações finais da cartilha, com reflexões e apontamentos que encerram o trabalho.

Figura 34 – Sumário da cartilha.



| <b>SUMÁRIO</b>                                                         |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                                              | <b>3</b>  |
| <b>2 PERSPECTIVAS HISTÓRICAS</b> .....                                 | <b>8</b>  |
| <b>3 ALGUMAS PERSONALIDADES E SUAS CONTRIBUIÇÕES</b> .....             | <b>15</b> |
| 3.1 <i>Hipátia de Alexandria</i> .....                                 | 16        |
| 3.2 <i>Nicolau Copérnico</i> .....                                     | 18        |
| 3.3 <i>Johannes Kepler</i> .....                                       | 20        |
| 3.4 <i>Galileu Galilei</i> .....                                       | 22        |
| 3.5 <i>Isaac Newton</i> .....                                          | 24        |
| 3.6 <i>Henrietta Swan Leavitt</i> .....                                | 26        |
| 3.7 <i>Albert Einstein</i> .....                                       | 28        |
| 3.8 <i>Nancy Grace Roman</i> .....                                     | 30        |
| 3.9 <i>Vera Rubin</i> .....                                            | 32        |
| 3.10 <i>Katherine Bouman</i> .....                                     | 34        |
| <b>4 ALGUNS MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS À ASTRONOMIA</b> .....       | <b>36</b> |
| 4.1 <i>Método para determinar a distância da Terra até a Lua</i> ..... | 37        |
| 4.2 <i>As leis planetárias de Kepler</i> .....                         | 40        |
| 4.2.1 <i>A 1ª Lei de Kepler</i> .....                                  | 40        |
| 4.2.2 <i>A 2ª Lei de Kepler</i> .....                                  | 41        |
| 4.2.3 <i>A 3ª Lei de Kepler</i> .....                                  | 42        |
| 4.3 <i>A descoberta do planeta Netuno</i> .....                        | 43        |
| <b>5 VIAGEM ESPACIAL PELO CINEMA</b> .....                             | <b>46</b> |
| <b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....                                    | <b>47</b> |
| <b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                              | <b>48</b> |

Fonte: A autora, 2025.

## 7 CRONOGRAMA

O Quadro 1 a seguir apresenta o cronograma em que cada etapa do projeto foi realizada, tendo este sido programado para sua execução no período do segundo semestre de 2024 ao primeiro semestre de 2025 conforme abaixo:

Quadro 1 - Cronograma da pesquisa.

| Atividade/ Mês                         | 2024 |     |     | 2025 |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------------------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                        | Out  | Nov | Dez | Jan  | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul |
| Levantamento bibliográfico             | x    | x   | x   | x    |     |     |     |     |     |     |
| Desenvolvimento do referencial teórico | x    | x   | x   | x    | x   | x   |     |     |     |     |
| Desenvolvimento da cartilha            |      | x   | x   | x    | x   | x   | x   | x   | x   |     |
| Análise dos resultados                 |      |     |     |      |     |     | x   | x   | x   | x   |
| Defesa do TCC                          |      |     |     |      |     |     |     |     |     | x   |

Fonte: A autora, 2025.

## 8 RESULTADOS

Os resultados deste trabalho têm como objetivo contribuir para o ensino da Matemática por meio de uma abordagem interdisciplinar com temas ligados à Astronomia. Busca-se, assim, incentivar os leitores a “enxergar” a Matemática além de seus conteúdos específicos e abstratos, promovendo a compreensão e a reflexão sobre suas contribuições históricas e atuais para o desenvolvimento da ciência, sobretudo da Astronomia. Dessa forma, amplia-se a percepção dos estudantes, tornando a Matemática mais atrativa ao ser apresentada como parte de um todo maior, que se conecta a diversas outras áreas do conhecimento. Essa abordagem ressalta a colaboração entre disciplinas e evidencia que a ciência não se desenvolve de forma isolada, mas sim de maneira integrada e complementar. A estrutura dos resultados foi organizada com o enfoque inicial nas principais informações obtidas na pesquisa do referencial teórico e posteriormente na elaboração da cartilha didática, tratando deste tema de maneira informal.

O referencial teórico desta pesquisa apresenta contribuições da matemática na astronomia, evidenciando capítulos que seguem uma linha cronológica com o intuito de analisar a historicidade da relação entre estas áreas. Os capítulos são organizados em três tópicos principais, o primeiro aborda uma contextualização histórica do surgimento das ciências, o segundo apresenta figuras históricas e seus trabalhos contributivos para o avanço da ciência e o terceiro fala sobre modelos matemáticos que foram aplicados no campo da astronomia. Esta pesquisa possui um caráter científico, desse modo a criação da cartilha didática foi pensada para tornar este estudo mais acessível, se estendendo à toda a educação básica e até para além dela, podendo ser facilmente adquirida por qualquer pessoa.

A cartilha é um material didático simples e objetivo, usado para orientar e ensinar sobre um tema específico. Ela apresenta conteúdos de forma clara e acessível com o intuito de facilitar os estudos. Nesse sentido, esta cartilha foi desenvolvida, tendo como base o referencial teórico deste trabalho, para estabelecer vínculos com mais leitores, assim expandindo o acesso à assuntos voltados para este tema. A cartilha foi elaborada a partir do *software Powerpoint*, um programa de apresentação amplamente utilizado para criar slides com textos, imagens, animações, gráficos e diversos outros recursos visuais. Também foi necessária uma fonte de imagens para ilustrar a cartilha de maneira atrativa, para isto utilizou-se o *Pinterest*, uma plataforma online de descoberta visual, onde os usuários podem encontrar, salvar e compartilhar ideias por meio de imagens. Ele funciona como um quadro de

inspirações digitais, sendo muito usado para referências de moda, receitas, design, decoração entre outros temas. Para que a cartilha atingisse seu objetivo principal, a divulgação e acessibilidade a este estudo, foi crucial que a escrita fosse repensada e reformulada, adaptando-a para uma linguagem mais simples. Dessa forma, cada tópico foi reanalisado e resumido, sintetizando as principais informações presentes nos capítulos e organizando-as em parágrafos curtos nas páginas da cartilha, contudo mantendo a organização inicial dos capítulos, como neste trabalho.

Figura 35 – Página da cartilha.



Fonte: A autora, 2025.

Esta cartilha didática corrobora com os objetivos centrais deste trabalho, pois contribui para que o conteúdo de matemática seja visto a partir de uma óptica interdisciplinar e apresenta diversas informações científicas que colaboram com o ensino em geral.

Como resultado deste trabalho, é esperado que a divulgação da cartilha educacional contribua significativamente para a ampliação do conhecimento e o interesse dos estudantes sobre matemática e astronomia. Sendo assim, a cartilha foi pensada para ser publicada tendo em vista a acessibilidade dos estudantes a partir do fornecimento do material de forma virtual.

Nesse sentido, esta cartilha didática será submetida para publicação no Edital nº 15/2024 – EDIFAP/PROPI/IFAP, que tem como propósito selecionar produções acadêmicas inéditas para serem publicadas em formato digital (E-books) pela Edifap, com a finalidade de

incentivar a geração e a divulgação do conhecimento científico e acadêmico em diferentes campos de estudo, além de ampliar e democratizar o acesso às publicações de livros e cartilhas.

A partir da abordagem estratégica da cartilha, os estudantes poderão demonstrar maior compreensão de conceitos astronômicos e sua relação com o cotidiano. As cartilhas ainda podem servir como material de apoio contínuo, permitindo que os estudantes tenham acesso aos conteúdos de forma independente, e ,portanto, promovendo assim um impacto positivo e duradouro no processo de ensino-aprendizagem.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo evidenciar as contribuições da Matemática na Astronomia por meio de uma análise histórica. Nesse sentido, buscou-se colaborar com o ensino da Matemática, sobretudo voltando-se para a divulgação e comunicação científica por meio da abordagem de temas relacionados à Astronomia, uma área de estudo que está em constante evolução e que influencia diretamente a vida dos seres humanos. A pesquisa evidenciou o papel histórico da Matemática dentro desse campo de estudos.

Em decorrência deste estudo, foi possível perceber que, de modo geral, os objetivos foram alcançados. O levantamento bibliográfico foi adequado à temática da pesquisa e abordou os principais tópicos propostos, com a Matemática sendo o foco central de toda a pesquisa, especialmente destacada pela interdisciplinaridade com a Astronomia.

Conseqüentemente, a construção da cartilha didática, embasada nesta pesquisa, resultou em um produto de divulgação científica. A cartilha foi desenvolvida para apresentar o conteúdo deste trabalho de maneira mais simples e resumida aos leitores, com o intuito de abraçar um público mais amplo, facilitando o acesso ao conhecimento matemático e astronômico.

Ficou evidenciado também que os conhecimentos de Matemática e Astronomia presentes neste trabalho alinham-se com a BNCC, fazendo parte da estrutura curricular da educação básica. Dessa forma, os conteúdos abordam noções sobre o tema e propõem reflexões com base nas informações científicas, o que pode contribuir para os estudos dos leitores e ampliar o entendimento da Matemática, estendendo-a para além dos tópicos tradicionalmente mecânicos e decorados.

Um fator limitante para o desenvolvimento mais aprofundado deste estudo foi a escassez de trabalhos que contemplassem as equações utilizadas para a descoberta do planeta Netuno, um dos tópicos abordados. Por esse motivo, o problema foi abordado de uma forma introdutória, não sendo o objetivo desta pesquisa aprofundar o método matemático e computacional utilizado para a sua solução. Embora tenha sido feito um estudo sobre esse acontecimento, recomenda-se que estudos posteriores ampliem a pesquisa sobre esse tema, utilizando diferentes bancos de dados, o que pode resultar em outros trabalhos específicos sobre o modelo matemático que envolve o problema da descoberta do planeta.

Assim, espera-se que este trabalho coopere para promover o conhecimento das contribuições que a simbiose entre a Matemática e a Astronomia trouxeram ao longo do

tempo para a ciência, influenciando os avanços científicos graduais e contribuindo para o entusiasmo dos leitores, sejam estes alunos, professores ou hobistas, pela Matemática e pela Astronomia.

## REFERÊNCIAS

ALBERGARIA, Danilo. O legado de Galileu para a ciência moderna. **ComCiência**, n. 112, 2009.

BARROS, Magali Conceição de. As mulheres do Harvard College Observatory: Henrietta Swan Leavitt - a mulher que descobriu como medir a distância das galáxias. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, v. 18, p. 12-21, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.23925/2178-2911.2018v18i1p12-21>. Acesso em: 7 set. 2024.

BELTRAN, Maria Helena Roxo; SAITO, Fumizaku; TRINDADE, Laís dos Santos Pinto. **História da ciência: tópicos atuais – Volume 1**. 1ªed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

BOYER, Carl Benjamin; MERZBACH, Uta Caecilia. **História da Matemática**. 3ªed. São Paulo: Blucher, 2012. 504 p.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio**. Brasília, DF: MEC, 2018.

CHASSOT, Attico. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. 8ªed. Ijuí: UNIJUÍ, 2018.

DEMO, P. **Metodologia do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2000.

FERREIRA, Andressa Cristina Silva. **Como se media a distância até o Sol**. Relatório Final – Tópicos de Ensino de Física I. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Instituto de Física Gleb Wataghin – IFGW, Campinas, 9 nov. 2008. 44f.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GONÇALVES, Fátima Isabel Rodrigues; MAGALHÃES, Liliana Manuela Alves; PEREIRA, Susana Cristina Ribeiro. **Matemática na Astronomia**. 2007. 57f. Trabalho de Projeto – Departamento de Matemática, Universidade do Minho, 2007.

GUIMARÃES, Rafael Augusto Duarte. **As Leis de Kepler sob o Ponto de Vista da Teoria da Gravitação Universal de Newton**. 2018. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Matemática) – Faculdade de Matemática, Universidade Federal do Pará, Castanhal, 2018.

KUHN, T. S. **A revolução copernicana: Aspectos históricos e epistemológicos**. Lisboa: Edições 70, 2002.

KAKU, Michio. **O Cosmo de Einstein: Como a visão de Albert Einstein transformou nossa compreensão de espaço e tempo**. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

LEITE, Suzen Paula da Silva. **Uma cartilha como proposta de modelo analógico para o ensino de astronomia**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Naturais) – Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, Planaltina-DF, 2018.

MACÊDO, Érico Santana de. **A Terra não é plana! Como a Geometria do Ensino Fundamental pode ensinar noções de Astronomia**. 2021. 81f. Dissertação – Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2021.

MALBOUISSON, Luiz A. C.; SANTANA, Ademir E. A mecânica e as técnicas: as equações de movimento e o desenvolvimento das ciências naturais e da tecnologia. **Ciência e Sociedade** (CS), Rio de Janeiro, CBPF, v.2, n.1, 2014. 18f.

MEDEIROS, Julia. **Um estudo histórico-epistemológico sobre a descoberta da matéria escura e o protagonismo da pesquisa desenvolvida por Vera Rubin**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024.

PIRES, Antonio S. T. **Evolução das idéias da física**. 2ªed – São Paulo: Livraria da física, 2011.

PRAÇA, Fabíola Silva Garcia. Metodologia da pesquisa científica: organização estrutural e os desafios para redigir o trabalho de conclusão. **Revista Eletrônica “Diálogos Acadêmicos”**, v. 08, n. 1, p. 72-87, jan.-jul. 2015. ISSN 0486-6266.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo, RS: Feevale, 2013.

QUEIRÓ, João F. **A Elipse, a Parábola e a Hipérbole - Propriedades e Aplicações**, Universidade de Coimbra. Disponível em: <http://www.mat.uc.pt/~jfqueiro/aplicacoes.pdf>. Acesso em 02 ago. 2025.

RIBEIRO, Joelson Santana. **O ensino de astronomia por meio de conteúdos de matemática e física, sob uma abordagem lúdica**. 2024. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana – BA, 2024.

RODAS NETO, Humberto Ferreira. **A importância da matemática no desenvolvimento da astronomia**. 2016. 77f. Dissertação – Programa de Mestrado Profissional em Matemática (PROFMAT), Maceió, 2016.

SAGAN, C. **Cosmos**. Trad. Vera Caputo. São Paulo: Francisco Alves, 1980.

SALDANHA, Isabella Fernandes; PACHECO, Letícia Yukari Kozima; RACHID, Liz Mirra de Carvalho; TORRES, Stella Marinho. Modelos matemáticos na busca por buracos negros: a perspectiva da aplicação do algoritmo CHIRP. In: **Educação e Ensino de Ciências e Matemática: pesquisa, aplicação e novas tendências**. Vol. 1. São Paulo: Científica Digital, 2022. ISBN 978-65-5360-077-5.

SIEMSEN, Giselle Henequin; LORENZETTI, Leonir. **O ensino de astronomia em uma abordagem interdisciplinar no ensino médio: potencialidades para a promoção da alfabetização científica e tecnológica**. Resumo apresentado em dezembro de 2018. Curitiba, PR, 2018.

SOUSA, Angélica Silva de; OLIVEIRA, Guilherme Saramago de; ALVES, Laís Hilário. A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. **Cadernos da Fucamp**, v. 20, n. 43, p. 64-83, 2021.

SILVA SOBRINHO, Alberto Gonzaga Paranhos da; OLIVEIRA, Cariolando Magalhães de. **Um estudo histórico da mulher na matemática: um diálogo sobre as contribuições e desafios**. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Macapá, 2023.

SILVA, Welberton Rios da; SANTANA DOS SANTOS, Marli; FERNANDES, Iranderly F. de. Descoberta de novos mundos: uma evolução histórica. **Caderno de Física da UEFES**, v. 21, n.01, p.1605. 1-10, 2023.

SOUZA, Amanda Salgueiro de; TEIXEIRA, Ricardo Roberto Plaza. História da astronomia no Egito Antigo: métodos de medição do tempo e educação científica. **Revista Eixo**, Brasília-DF, v. 12, n. 1, p. 27, jan./abr. 2023. Disponível em: <https://revistaeixo.ifb.edu.br>.

TREVISAN, R. H.; LATTARI, C. J. B. Investigando a aprendizagem de astronomia no ensino fundamental, usando um método experimental. In: **Atas do IV Encontro nacional de pesquisa em educação em ciências**, Bauru: 2003.

**APÊNDICE A - CARTILHA DIDÁTICA**



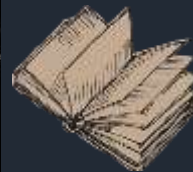



# SUMÁRIO



|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....                                     | 3  |
| 2 PERSPECTIVAS HISTÓRICAS .....                        | 8  |
| 3 ALGUMAS PERSONALIDADES E SUAS<br>CONTRIBUIÇÕES ..... | 15 |
| 3.1 Hipátia de Alexandria .....                        | 16 |
| 3.2 Nicolau Copérnico .....                            | 18 |
| 3.3 Johannes Kepler .....                              | 20 |
| 3.4 Galileu Galilei .....                              | 22 |
| 3.5 Isaac Newton .....                                 | 24 |
| 3.6 Henrietta Swan Leavitt .....                       | 26 |
| 3.7 Albert Einstein .....                              | 28 |
| 3.8 Nancy Grace Roman .....                            | 30 |
| 3.9 Vera Rubin .....                                   | 32 |
| 3.10 Katherine Bouman .....                            | 34 |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 4 ALGUNS MODELOS MATEMÁTICOS<br>APLICADOS À ASTRONOMIA .....       | 36 |
| 4.1 Método para determinar a distância da<br>Terra até a Lua ..... | 37 |
| 4.2 As leis planetárias de Kepler .....                            | 40 |
| 4.2.1 A 1ª Lei de Kepler.....                                      | 40 |
| 4.2.2 A 2ª Lei de Kepler.....                                      | 41 |
| 4.2.3 A 3ª Lei de Kepler.....                                      | 42 |
| 4.3 A descoberta do planeta Netuno .....                           | 43 |
| 5 VIAGEM ESPACIAL PELO CINEMA....                                  | 46 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....                                        | 47 |
| 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                  | 48 |





*Saudações, adorável leitor!  
Vamos estudar a matemática de  
um jeito diferente?  
Embarque comigo nesta viagem  
pelo tempo para analisar como a  
matemática impulsionou a  
astronomia e como essas áreas  
contribuíram para o avanço da  
ciência.  
Aperte os cintos e boa viagem!*

# I Introdução



*Desde que o ser humano desenvolveu a consciência, como um ser racional, iniciaram, entre os povos de vários lugares do mundo, diversas dúvidas sobre a origem da vida, onde nós vivemos e como tudo ao seu redor foi formado.*

*Assim, podemos perceber que a curiosidade do ser humano o levou a querer e buscar respostas confiáveis para essas perguntas. Porém, como saber que respostas eram seguras? Como seria possível organizar e comprovar as teorias para as origens, o funcionamento e a evolução do universo?*



*Um aspecto imprescindível para que os questionamentos da humanidade continuassem a serem investigados, é o fato de que os fenômenos naturais tinham forte influência sobre a vida dos povos antigos.*

*Os antigos egípcios eram um povo muito prático e, do ponto de vista da astronomia, realizaram as suas observações do céu com vistas a produzir um sistema de contagem de tempo que fosse útil para os negócios e para a administração.*

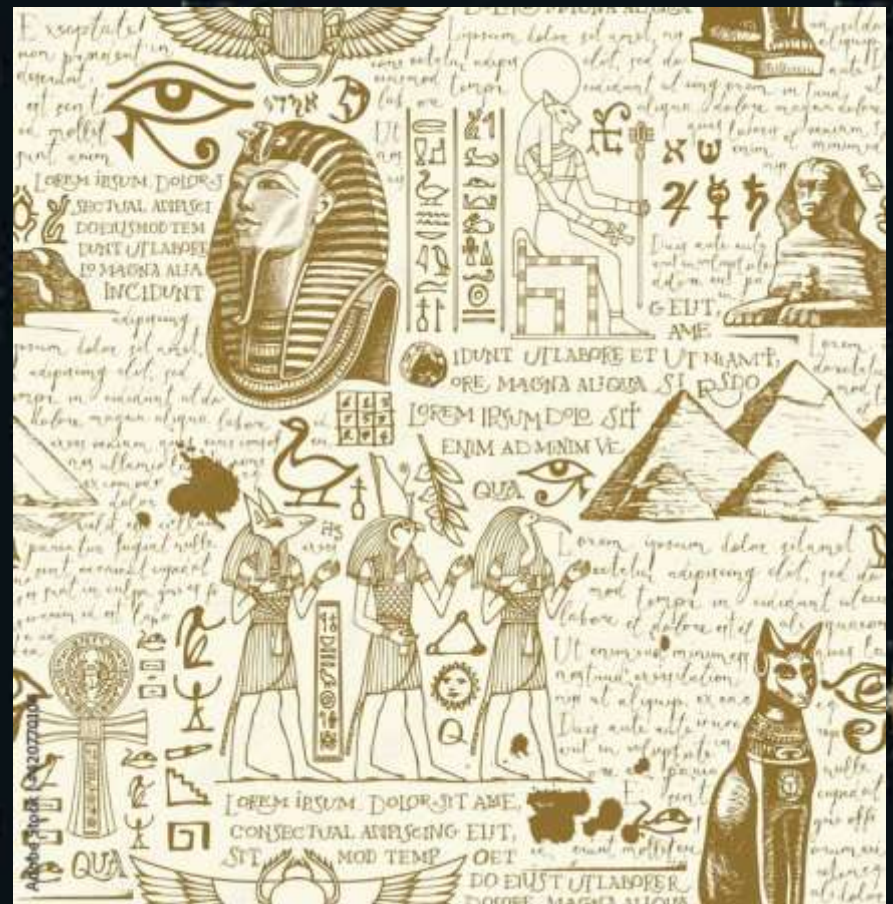
*Eles usavam a duração de 365 dias para o ano e a divisão de um dia em 24 unidades de tempo menores, as horas (SOUZA e TEIXEIRA, 2023, p. 28).*

*A astronomia é a ciência que estuda o movimento, a formação, a origem e as transformações dos corpos celestes, mas ela nem sempre foi entendida dessa forma. No início a astronomia surge da observação e do estudo dos movimentos dos planetas e das estrelas, principalmente por conta de como os fenômenos naturais tinham impacto na vida dos povos antigos.*

*Os astrônomos da antiguidade conseguiram coletar um grande número de dados sobre os movimentos dos astros, por conta da necessidade dos povos de organizar a época do plantio e da colheita através de sua relação com as posições do Sol, da Lua e das estrelas.*



A matemática, uma das ciências mais antigas, surge da necessidade humana de quantificar coisas, entender padrões, conceitos geométricos e fazer cálculos. Durante séculos ela foi considerada a ciência dos números, grandeza e forma. Nesse período, nações como a Babilônia e o Egito já usavam a matemática de uma forma mais prática e utilitária.



Os egípcios desenvolveram a matemática e astronomia para usos práticos, como: prever as inundações do Nilo, planejar a construção de pirâmides e templos, resolver os problemas de irrigação.



*Na Grécia, entre os estudiosos da filosofia havia diferenças de opiniões sobre a formação e origem do mundo.*

*De um lado tinham os que defendiam teorias influenciadas pelo misticismo, e do outro tinham os que procuravam por explicações realistas e racionais. Foi então com um grupo na Jônia que os questionamentos sobre a natureza do mundo em que habitavam se iniciaram.*



*A partir disso, alguns estudiosos começaram a sugerir modelos para a estrutura da Terra e sua posição no espaço, usando a matemática como principal ferramenta.*

## 2 Perspectivas Históricas

*Você sabia que para termos as informações que temos hoje sobre o universo, foi preciso de algumas teorias de antigos estudiosos? Até mesmo as que estavam erradas.*



*Porém, não significa que essas teorias sejam menos importantes que as atuais. Afinal o conhecimento científico só avançou tanto, por conta dessas primeiras hipóteses. Vamos conferir?*



Um dos primeiros filósofos foi Anaximandro (610-546 a.E.C.), conhecido por suas ideias sobre a origem do cosmos e da vida. Foi o primeiro a teorizar um Universo geométrico e sem um criador. Ele propôs que o Universo era infinito, com a Terra sendo o centro e cuja forma era cilíndrica.

Pitágoras, um grande matemático que viveu entre 585 e 565 a. E. c., fundador da escola pitagórica, acreditava que os números eram o cerne de todas as coisas. Esta crença pode ser associada à ideia moderna de que o Universo é descrito por quantidades matemáticas.  
(Neto, 2016, p. 7)

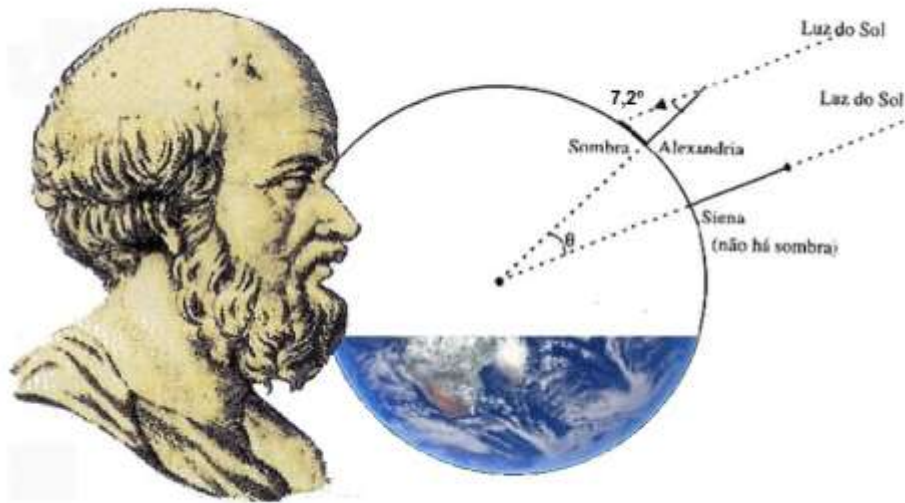


*Aristóteles (384-322 a.E.C.) foi um dos grandes pensadores do Ocidente, contribuindo para áreas como lógica, ética e biologia. Ele tentou descrever o Universo com base em lógica e observação. Também concluiu que a Terra era esférica, observando sua sombra na Lua durante eclipses, e estudou as distâncias entre corpos celestes.*

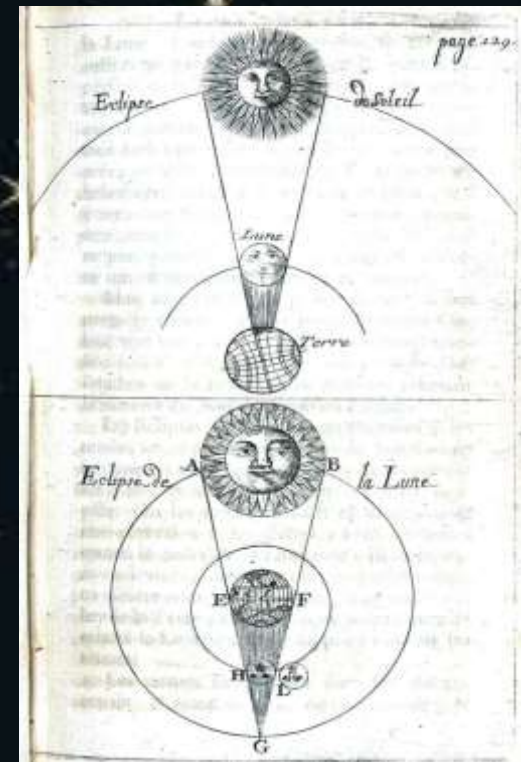
*Teorizava que a Terra era esférica e estava no centro do universo, enquanto as estrelas e planetas giravam ao redor dela, presos em esferas cristalinas.*



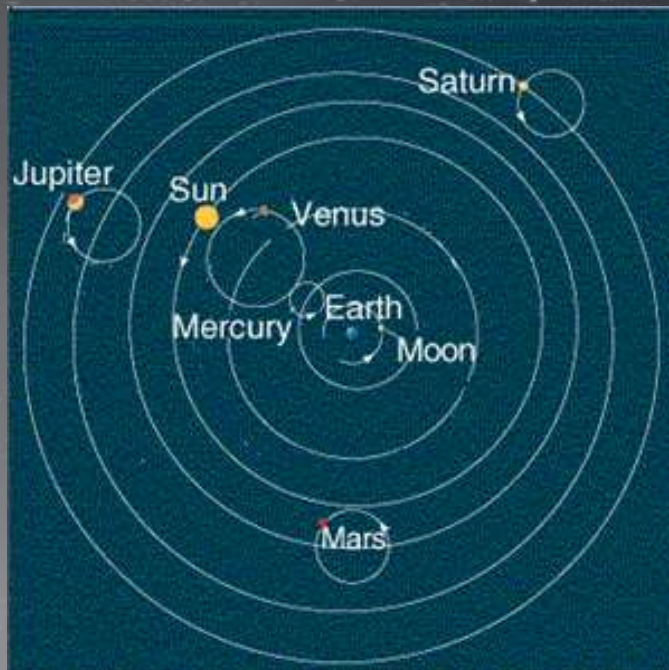
*Eratóstenes (276-194 a.E.C.), outro matemático e astrônomo da época, o primeiro a conseguir determinar com extrema precisão o diâmetro da Terra.*



*Com base nos ângulos das sombras em diferentes locais, Eratóstenes calculou com precisão o perímetro da Terra. Ele também estimou as distâncias até o Sol e a Lua, usando dados de eclipses lunares.*



*Ptolomeu, assim como Pitágoras, tem o ano de nascimento incerto e viveu entre 100 e 170 d. E. c. Foi um influente cientista e autor do Almagesto, obra que serviu de base para a astronomia até o século XVII, apresentando o modelo geocêntrico do sistema solar.*



*O modelo geocêntrico é a ideia de que a Terra está no centro do universo e que o Sol, a Lua, os planetas e as estrelas giram ao seu redor.*





*Tycho Brahe (1546-1601) foi um astrônomo que criou um catálogo preciso de observações celestes antes do telescópio. Seu trabalho ajudou Johannes Kepler a desenvolver as leis do movimento planetário.*





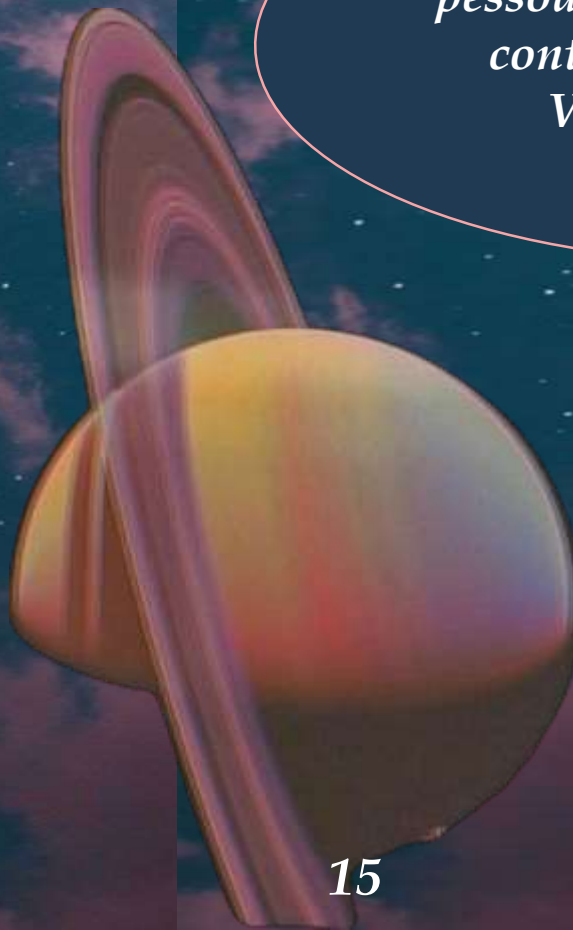
This picture shows as what the earth we falling upon the earth must make it ship not know if there are any inhabitants utterly different from ourselves. No be moon is an airless world. People on the largest cannon-ball that could be fired. The moon might be filled with lovely not a note would be heard. For the

*Interessante, não? Este capítulo nos mostrou como a ciência tem o propósito de eliminar erros de teorias anteriores e substituí-las por teorias mais realistas, com o objetivo de se aproximar da verdade.*

*A matemática sempre teve um papel essencial na astronomia. Desde as civilizações antigas, que usavam cálculos simples para prever ciclos astronômicos, até cientistas como Kepler e Newton, cujas leis do movimento planetário revolucionaram o estudo do cosmos.*

### 3 ALGUMAS PERSONALIDADES E SUAS CONTRIBUIÇÕES


*Agora vamos conhecer algumas  
pessoas que se dedicaram para  
contribuir para a ciência?  
Venha comigo nessa  
exploração.*



### 3.1 Hipátia de Alexandria

*Hipátia nasceu em Alexandria por volta de 370 E.C. e foi influenciada por seu pai, Theon, matemático e astrônomo. Destacou-se na matemática e astronomia, estudando em Atenas e Alexandria, onde se tornou mestra em filosofia e matemática. Também tinha conhecimento em medicina e ajudou no desenvolvimento do astrolábio, usado para medir estrelas e a altura do Sol.*

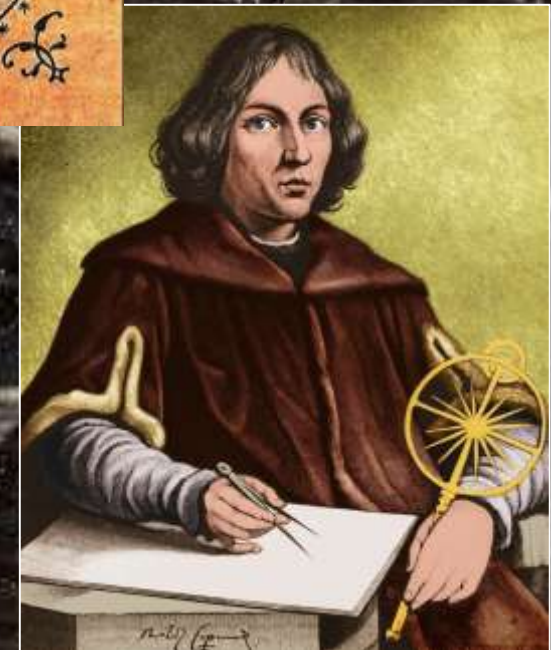




*Hipátia se destacou na astronomia, revisando e comentando obras de Ptolomeu, ajudando a preservar esse conhecimento. Também contribuiu para a matemática, com pesquisas registradas em manuscritos como Comentários sobre a Aritmética de Diofanto, um matemático grego do século III a.C., conhecido como o "Pai da Álgebra".*

## 3.2 Nicolau Copérnico

*Copérnico revolucionou a astronomia ao propor o modelo heliocêntrico, que colocava o Sol no centro, em contraste com o modelo geocêntrico. Embora ideias semelhantes já existissem, ele foi o primeiro a desenvolver cálculos detalhados. Essa mudança ficou conhecida como "Revolução Copernicana".*





*Na primavera de 1539, Copérnico recebeu a visita de Jorge Joaquim Rético, professor de matemática em Wittenberg. Rético passou dois anos estudando o sistema planetário de Copérnico. Em 1540, com a aprovação de Copérnico, o trabalho Sobre as Revoluções das Esferas Celestes foi finalmente publicado.*

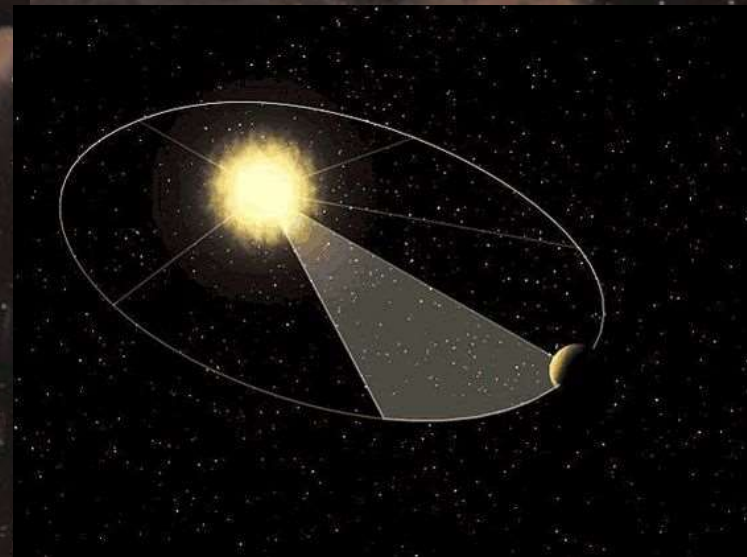
### 3.3 Johannes Kepler



*Kepler estudou Marte por muitos anos, pois o planeta tinha uma órbita diferente dos outros, com desvios mais notáveis, o que o tornava único entre os planetas visíveis a olho nu.*

*Kepler descobriu que a linha entre os planetas e o Sol varre áreas iguais em tempos iguais, o que é a segunda Lei de Kepler. Isso significa que os planetas se movem mais rápido perto do Sol e mais devagar quando estão mais longe. Inicialmente, ele achava que as órbitas eram circulares, mas depois percebeu que eram elípticas, com o Sol em um dos focos. Isso é a primeira Lei de Kepler.*

*Kepler não ficou satisfeito apenas com as leis sobre a velocidade dos planetas e suas órbitas. Ele também investigou a relação entre as distâncias dos planetas e o Sol. Quando encontrou essa relação, formulou a terceira Lei de Kepler, que diz: quanto mais distante o planeta estiver do Sol, mais tempo levará para completar uma órbita.*



*Essas leis substituíram o modelo geocêntrico e das órbitas circulares, oferecendo um modelo heliocêntrico mais preciso. As descobertas de Kepler foram essenciais para a teoria da gravitação de Newton, mudando nossa compreensão da mecânica celeste.*

### 3.4 Galileu Galilei

Galileu Galilei nasceu em 1564, em Pisa, Itália, e é um dos fundadores da astronomia moderna. Suas descobertas e métodos de observação revolucionaram a ciência. Embora muitos pensem que ele inventou o telescópio, Galileu nunca fez essa afirmação.

O telescópio de Galileu, no século XVI, foi essencial para comprovar o heliocentrismo. Ele não o inventou, mas o aperfeiçoou para ampliar objetos até 30 vezes. Em Mensageiro Sideral, relatou estrelas invisíveis a olho nu e luas orbitando Júpiter, desafiando a ideia da "esfera celeste" e mostrando que a Terra pode se mover sem perder sua Lua.



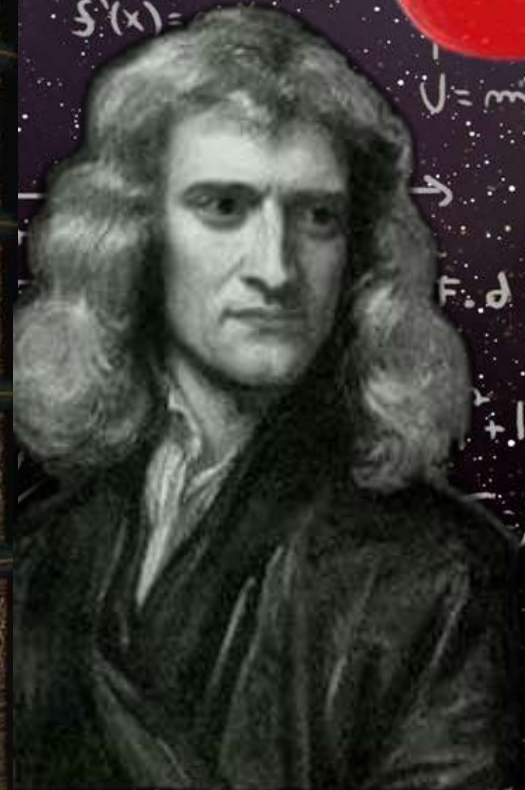


*Em 1609, Galileu usou seu telescópio para observar o céu como ninguém antes. No ano seguinte, publicou Mensageiro das Estrelas, causando reações variadas. Seus estudos impulsionaram a ciência, levando a avanços na física e na astronomia, resultando nos modernos telescópios espaciais.*

*Publicado em 1610, seu trabalho contradizia a ideia de Aristóteles, que dizia que os corpos celestes eram perfeitos e nunca mudavam.*

### 3.5 Isaac Newton

*Isaac Newton mostrou talento para matemática e mecânica desde cedo. Em 1661, entrou na Universidade de Cambridge, mas, devido à Peste Bubônica, voltou para Lincolnshire em 1665. Nesse período, desenvolveu ideias sobre cálculo, luz e gravidade, que seriam essenciais para suas futuras descobertas.*





*Após a publicação dos Principia, suas ideias foram aplicadas na astronomia e em outros campos. Newton mostrou que o universo segue leis matemáticas, impulsionando a confiança na ciência.*

*Ele também formulou as três leis do movimento, base da mecânica clássica, explicando como os corpos se movem e interagem.*

*Em 1666, Newton desenvolveu sua teoria da gravidade, imaginando que a mesma força que faz uma maçã cair também mantém a Lua em órbita. Ele resumiu suas ideias sobre movimento nas Leis do Movimento e, no mesmo ano, criou um tratado sobre cálculo infinitesimal. Sua lei da gravitação universal diz que todos os corpos com massa se atraem, com uma força que depende de suas massas e da distância entre eles.*

### 3.6 Henrietta Swan Leavitt

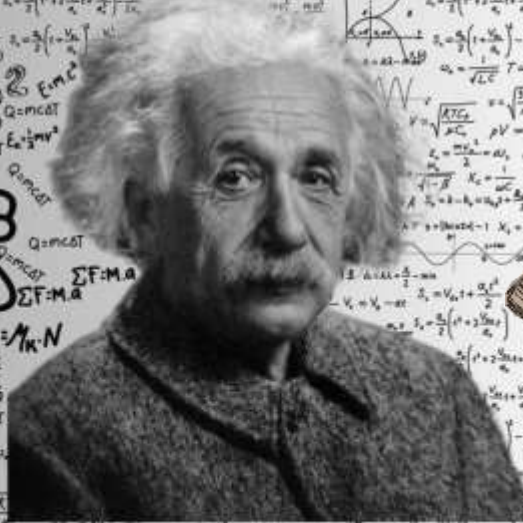


*Henrietta Leavitt foi uma astrônoma do início do século XX que estudou estrelas variáveis no Observatório de Harvard. Ela descobriu que, em Cefeidas, quanto maior o período de variação do brilho, maior sua luminosidade real. Isso permitiu calcular distâncias estelares, impactando a astronomia.*

*A descoberta de Leavitt permitiu medir distâncias no universo usando estrelas variáveis. Isso ajudou os astrônomos a calcular a escala do cosmos e foi essencial para Edwin Hubble provar a expansão do universo, base da teoria do Big Bang.*



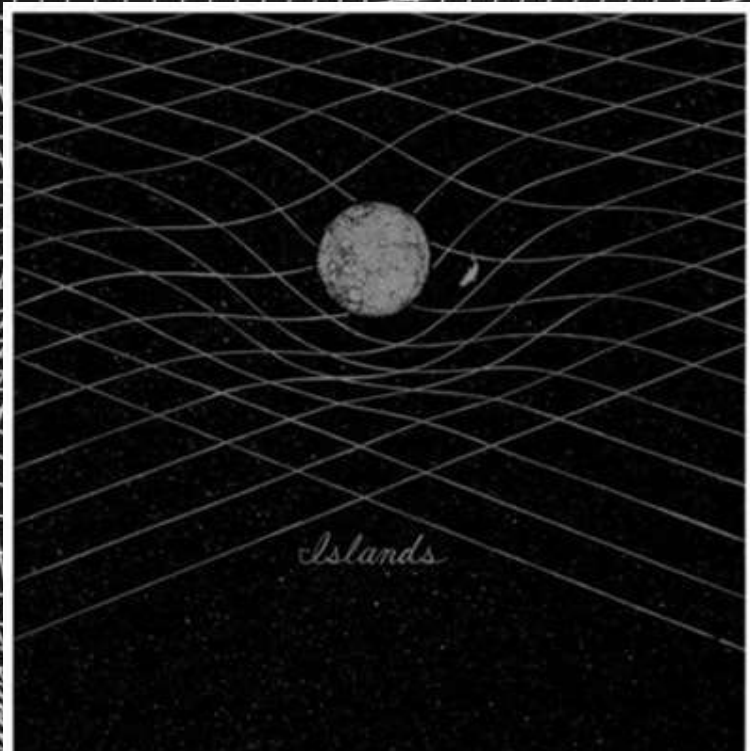
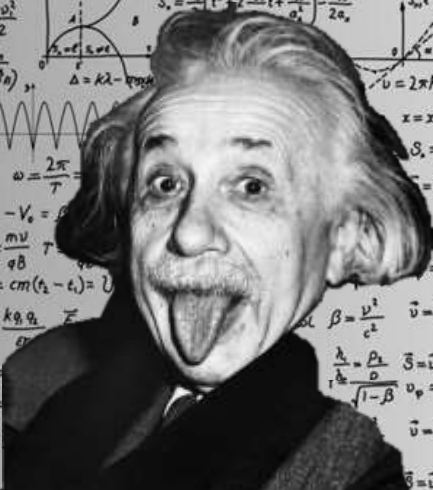
### 3.7 Albert Einstein



$$E=mc^2$$

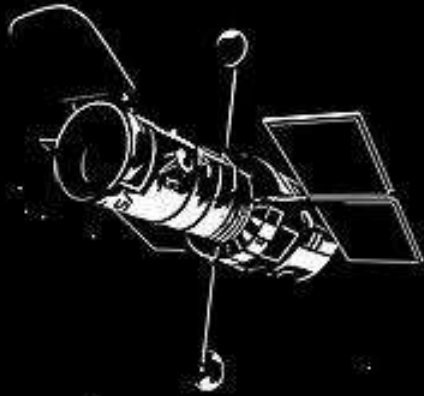
*Albert Einstein nasceu em 1879 no Império Alemão e desde cedo se interessou por Matemática e Física. Apesar da lenda, era bom aluno, mas só nas matérias que gostava. O rígido sistema escolar alemão não estimulava sua criatividade, tornando a escola um ambiente frustrante para ele.*

$V - V_0 = \beta V_0 (1 - \epsilon)$   $E_s = \frac{m v_s^2}{2} = dU_s$   $v = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$   
 $R = \frac{m v}{q B}$   $T = \frac{2\pi n}{q B}$   $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$   $X_c = \frac{1}{\omega C}$   $f = \frac{v_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$   
 $Q = cm(t_2 - t_1) = U + A$   $S_2 = h - h_0 = v_2 t_2 + \frac{h_0 t_1}{2}$   
 $W = \frac{k q_1 q_2}{er}$   $\bar{E}_n = \frac{3}{2} k T$   $y = |\sin 2\alpha| - 1$   $X_c = \omega L$   $\beta = \frac{v^2}{c^2}$   
 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$   $\Delta = k\lambda + \frac{\lambda}{2} - \min$   $F_A = \rho g V$   $S_1 = \frac{v}{v_0}$   
 $\phi = \frac{k q}{er}$   $V_s = V_0 - at$   $S_1 = V_0 t + \frac{a_1 t^2}{2}$   $F_1 = P - F_A$   $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} t$   
 $\vec{p} = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \beta^2}}$   $S_2 = \frac{a_2}{2} (t^2 + 2 \frac{V_0 t}{a_2})$   $F_2 = F_1 \frac{S_1}{S_2}$   
 $v = \frac{\lambda}{T}$   $S_1 = \frac{a_1}{2} (t^2 + 2 \frac{V_0 t}{a_1} + \frac{V_0^2}{a_1^2})$   $S_2 = \frac{a_2}{2} (t^2 + 2 \frac{V_0 t}{a_2} + \frac{V_0^2}{a_2^2})$   
 $E_p = \cos \alpha$   $S_1 = \frac{a_1}{2} (t^2 + 2 \frac{V_0 t}{a_1} + \frac{V_0^2}{a_1^2}) - \frac{V_0^2}{2a_1}$   
 $\frac{v^2}{2} = \frac{m v^2}{2}$   $\Delta = k\lambda - \text{round}$   $x = y$   
 $\omega = \frac{2\pi}{T}$   $V - V_0 = \beta V_0$   $S_1 = \frac{a_1}{2} (t^2 + 2 \frac{V_0 t}{a_1} + \frac{V_0^2}{a_1^2})$   $F_A = \rho g V$   $S_1 = \frac{v}{v_0}$   
 $R = \frac{m v}{q B}$   $Q = cm(t_2 - t_1) = U + A$   $\beta = \frac{v^2}{c^2}$   
 $W = \frac{k q_1 q_2}{er}$   $\bar{E}_n = \frac{3}{2} k T$   $y = |\sin 2\alpha| - 1$   $X_c = \omega L$   $\beta = \frac{v^2}{c^2}$   
 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$   $\Delta = k\lambda + \frac{\lambda}{2} - \min$   $F_A = \rho g V$   $S_1 = \frac{v}{v_0}$   
 $\phi = \frac{k q}{er}$   $V_s = V_0 - at$   $S_1 = V_0 t + \frac{a_1 t^2}{2}$   $F_1 = P - F_A$   $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} t$   
 $v = \frac{\lambda}{T}$   $S_1 = \frac{a_1}{2} (t^2 + 2 \frac{V_0 t}{a_1} + \frac{V_0^2}{a_1^2})$   $S_2 = \frac{a_2}{2} (t^2 + 2 \frac{V_0 t}{a_2} + \frac{V_0^2}{a_2^2})$   
 $E_p = \cos \alpha$   $S_1 = \frac{a_1}{2} (t^2 + 2 \frac{V_0 t}{a_1} + \frac{V_0^2}{a_1^2}) - \frac{V_0^2}{2a_1}$

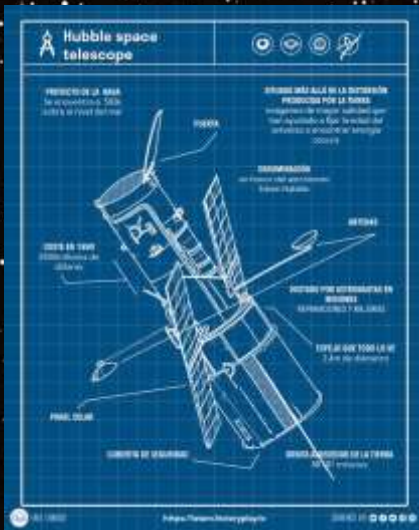


*Em 1905, Einstein completou sua tese de doutorado, descrevendo um método para determinar as dimensões moleculares e o número de Avogadro. Após isso, publicou mais quatro artigos, sendo um sobre o efeito fotoelétrico, outro sobre o movimento browniano (provando a existência dos átomos), e dois sobre a Teoria da Relatividade Restrita. Para criar a Teoria da Relatividade Geral, Einstein usou geometria diferencial e cálculo tensorial, com a ajuda do matemático Marcel Grossman, explicando a gravidade como a curvatura do espaço-tempo.*

## 3.8 Nancy Grace Roman



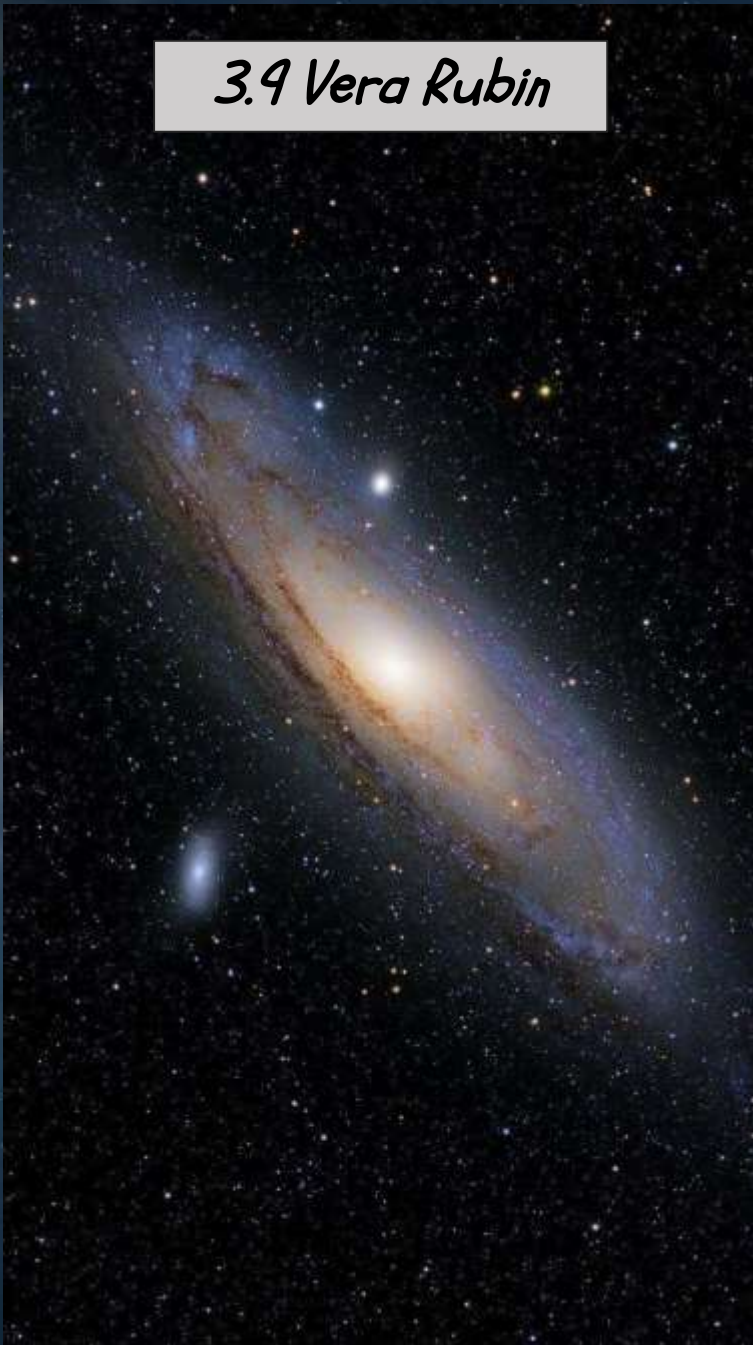
*Nancy Grace Roman, nascida em 1925, foi uma importante astrônoma americana, conhecida como a "mãe do Telescópio Espacial Hubble". Ela foi a primeira mulher a ocupar um cargo executivo na NASA, onde foi Chefe de Astronomia e Relatividade, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento de missões espaciais.*



*A principal contribuição de Nancy Grace Roman foi defender e planejar telescópios espaciais, que poderiam observar o universo sem as distorções da atmosfera. Ela foi essencial para o desenvolvimento do Telescópio Espacial Hubble, lançado em 1990, que transformou nossa compreensão do cosmos com imagens e dados detalhados. Para isso, foram usados métodos matemáticos como astrometria, trigonometria e paralaxe estelar, além de análise de dados astronômicos, cálculos orbitais e física matemática para o planejamento de missões espaciais.*



### 3.4 Vera Rubin



*Vera Rubin, nascida em 1928, se interessou por astronomia desde cedo e foi uma das poucas mulheres de sua época a seguir carreira científica. Astrônoma americana, seu trabalho revolucionou a compreensão da composição do universo, especialmente na matéria escura. Ela obteve seu doutorado em 1954 pela Universidade de Georgetown, onde começou a estudar a rotação das galáxias.*



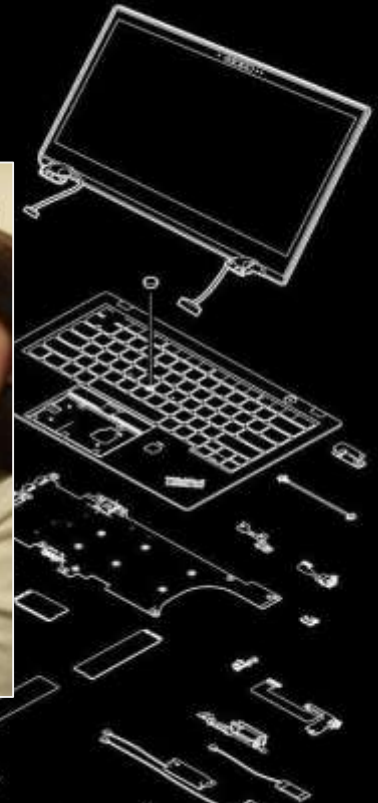
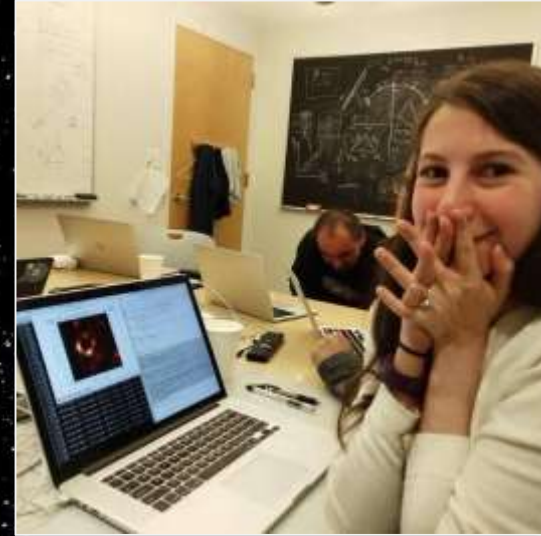
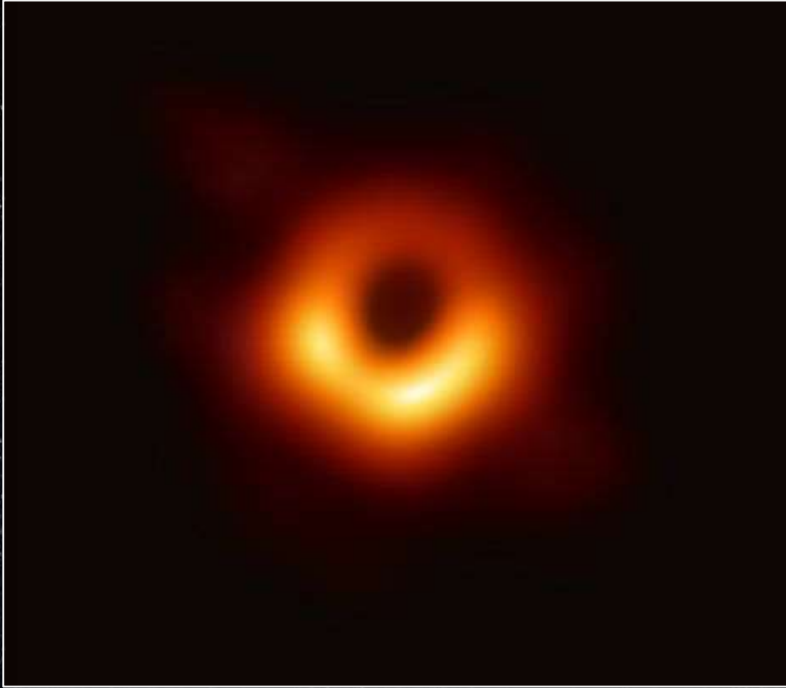
*Na década de 1970, Vera Rubin e o astrônomo Kent Ford mediram as velocidades de rotação das estrelas em galáxias espirais. Ao estudar galáxias como a de Andrômeda, descobriram que as estrelas nas bordas mantinham velocidades altas e constantes, ao contrário do esperado. Em 1968, eles traçaram a curva de rotação da galáxia M31 e concluíram que ela permanecia plana longe do núcleo, sem sinais de desaceleração das velocidades radiais com a distância.*



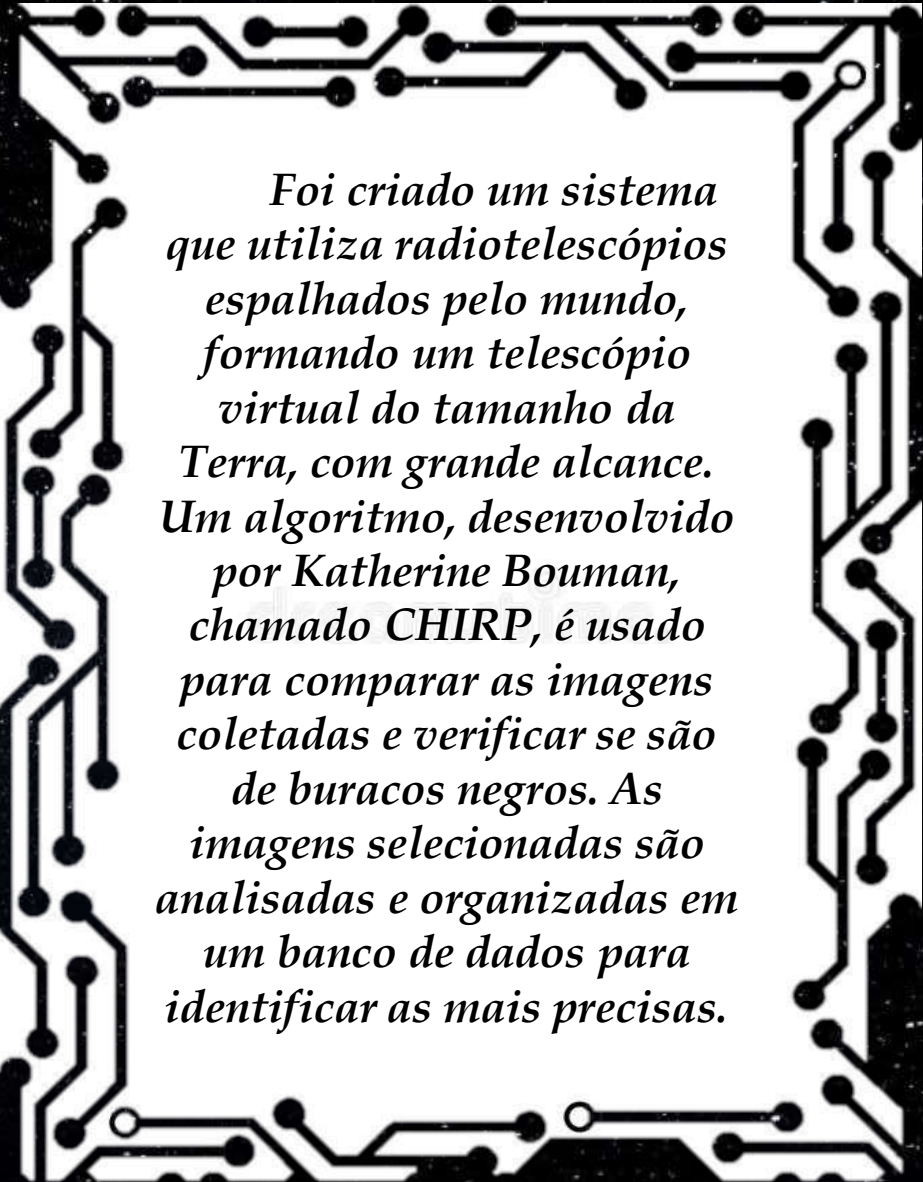
*Além de suas contribuições científicas, Rubin foi uma defensora das mulheres na ciência, inspirando e abrindo portas para futuras gerações de cientistas femininas*




### 3.10 Katherine Bouman



*Katherine Bouman, nascida em 1989 em West Lafayette, Indiana, é cientista da computação e professora. Seu trabalho mais importante foi ajudar a obter a primeira imagem direta de um buraco negro. Ela foi essencial no desenvolvimento do algoritmo de reconstrução de imagem usado pelo projeto Event Horizon Telescope (EHT), uma colaboração internacional que uniu dados de vários radiotelescópios. Esse esforço levou à captura da imagem do buraco negro supermassivo no centro da galáxia M87, divulgada em abril de 2019.*



*Foi criado um sistema que utiliza radiotelescópios espalhados pelo mundo, formando um telescópio virtual do tamanho da Terra, com grande alcance. Um algoritmo, desenvolvido por Katherine Bouman, chamado CHIRP, é usado para comparar as imagens coletadas e verificar se são de buracos negros. As imagens selecionadas são analisadas e organizadas em um banco de dados para identificar as mais precisas.*



*Esse algoritmo permitiu processar grandes quantidades de dados e gerar a famosa imagem do buraco negro, confirmando as previsões da teoria da relatividade de Einstein.*

## 4 ALGUNS MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS À ASTRONOMIA

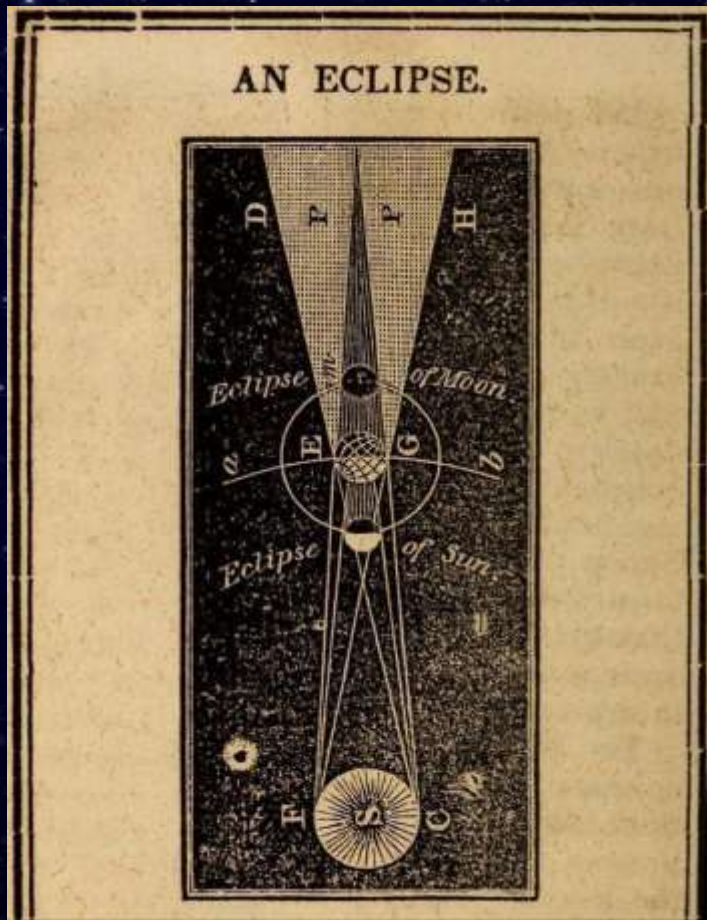
*Neste capítulo vamos fazer um estudo acerca de alguns modelos matemáticos usados diretamente na astronomia. Os estudiosos aqui conseguiram usar a matemática para descobertas extremamente precisas, mesmo sem os equipamentos tecnológicos que atualmente já temos. Vamos lá?*



## *4.1 Método para determinar a distância da Terra à Lua*



*Hiparco de Nicéia, na era pré-cristã, foi o primeiro astrônomo a calcular a distância da Terra à Lua usando geometria e observações de eclipses. Apesar de não ser totalmente preciso, seu método forneceu um valor surpreendentemente próximo do real para a época. Ele analisou a sombra da Terra projetada na Lua durante um eclipse para fazer suas estimativas, baseando-se no modelo geocêntrico vigente.*



Hiparco assumiu que a Terra era esférica e que sua sombra no espaço tinha forma cônica. Usando observações, diagramas e cálculos com proporções e trigonometria, ele estimou a distância da Terra à Lua em cerca de 76 vezes o raio terrestre. Como os valores não eram exatos, ele ajustou sua estimativa para um intervalo entre 62 e 74 vezes o raio da Terra.

$$62r < x < 74r$$

Considerando  $R = 6.270$  km, o valor aproximado do raio da Terra, na época estimado por Eratóstenes. Conclui-se que:

$$x = 76r$$

$$x = 76 \times 6270$$

$$x = 476.520 \text{ km}$$



# ASTRONOMY

*Com os avanços tecnológicos, a distância da Terra à Lua pode ser medida com grande precisão pelo método Lunar Laser Ranging (LLR). Esse método dispara lasers em refletores deixados na Lua pelas missões Apollo e soviéticas, que retornam a luz na mesma direção, permitindo cálculos exatos.*

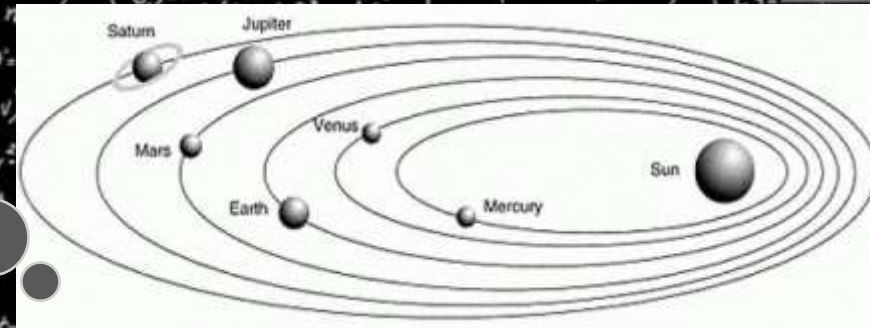


## 4.2 As Leis Planetárias de Kepler

Johannes Kepler apresentou suas duas primeiras leis em 1609, na obra *Astronomia Nova*, e a terceira em 1619, no tratado *Harmonices Mundi*. Ele estudou Marte em detalhe, pois sua órbita era a mais desviada de um círculo entre os planetas visíveis a olho nu.

### 4.2.1 A 1ª Lei de Kepler

“O planeta em órbita em torno do Sol descreve uma elipse em que o Sol ocupa um dos focos.”



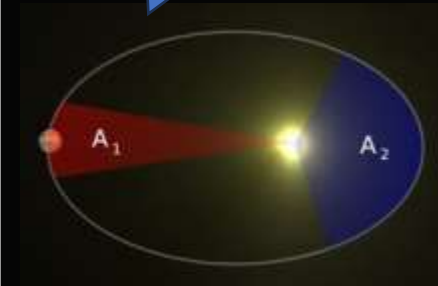


*Uma elipse é uma curva fechada em que a soma das distâncias de qualquer ponto a dois focos fixos é constante. Tycho Brahe registrou com precisão as posições dos planetas, especialmente Marte. Após sua morte, Kepler herdou esses dados e concluiu que as órbitas planetárias são elípticas. Ele focou em Marte por sua órbita mais excêntrica e por se mover rapidamente, o que facilitava a análise.*

#### 4.2.2 A 2ª Lei de Kepler

*“Uma linha imaginária que liga um planeta ao Sol varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.”*

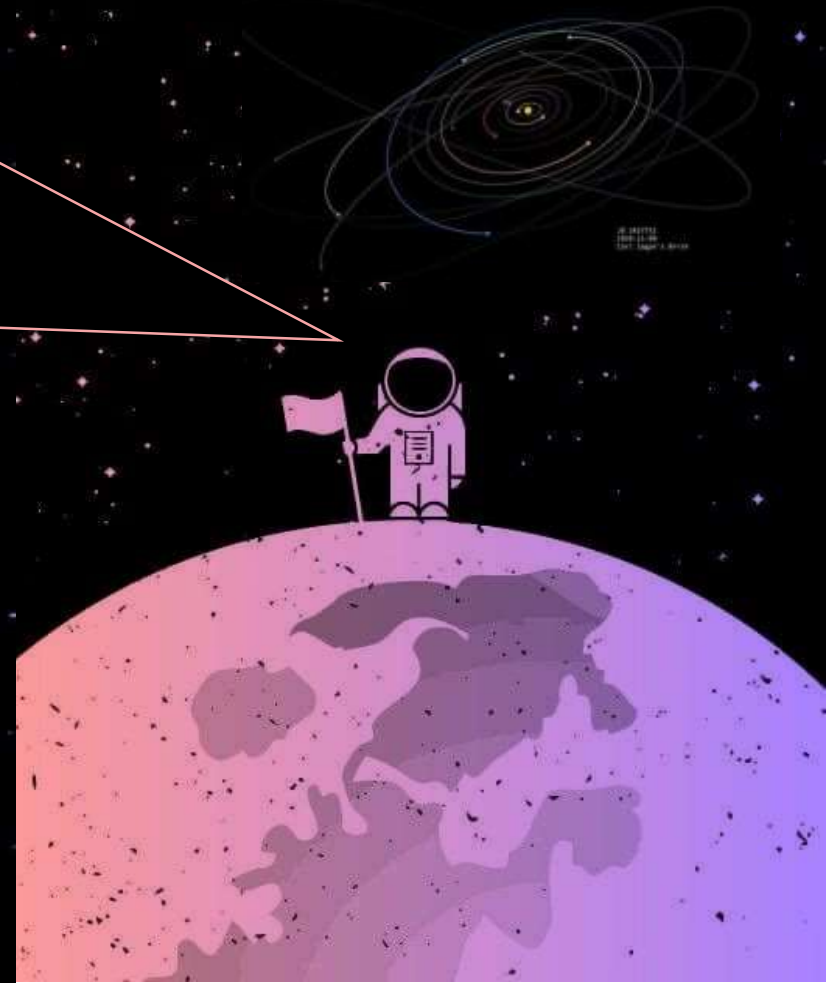
*Com base na primeira lei, Kepler percebeu que, ao se mover em sua órbita, um planeta varre áreas iguais em tempos iguais. Quando está mais próximo do Sol, ele se move mais rápido, percorrendo um arco maior. Quando está mais distante, se move mais devagar, percorrendo um arco menor. No entanto, as áreas varridas nesses intervalos de tempo são sempre iguais.*



### 4.2.3 A 3ª Lei de Kepler

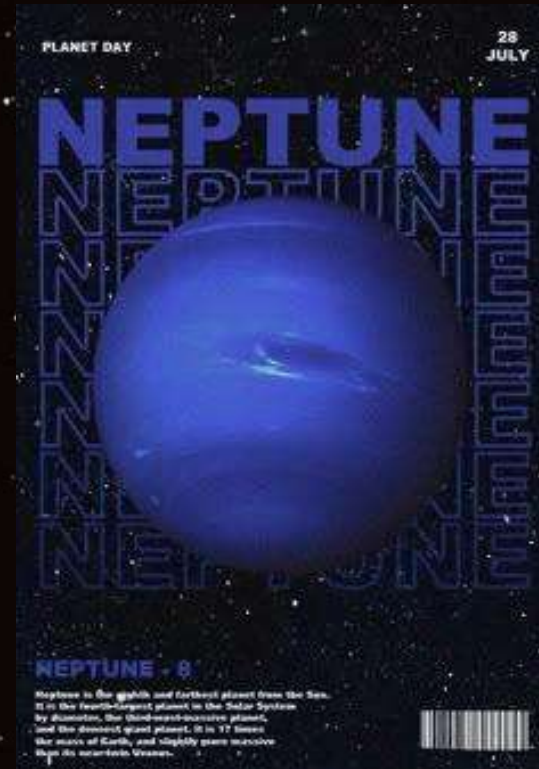
*“O quadrado do período de qualquer planeta é proporcional ao cubo do semieixo maior de sua órbita.”*

*Após dez anos, Kepler formulou sua terceira lei, conhecida como Lei dos Períodos. Ela estabelece uma relação entre os movimentos dos planetas, mostrando a harmonia do sistema solar. Com essa lei, concluiu-se que planetas mais próximos do Sol se movem mais rápido, enquanto aqueles mais distantes se movem mais devagar.*



## 4.3 A descoberta do planeta Netuno

*Em setembro de 1846, o astrônomo Johann Gottfried Galle observou Netuno pela primeira vez com seu telescópio, confirmando uma grande descoberta científica. A ideia de um oitavo planeta surgiu para explicar irregularidades na órbita de Urano, que pareciam ser causadas por uma força desconhecida.*



*Os astrônomos analisaram cuidadosamente o movimento de Urano e perceberam que sua posição real não correspondia exatamente aos cálculos. A única explicação possível era um erro nos modelos matemáticos ou a influência de outro planeta além de sua órbita.*

*O matemático Urbain Le Verrier usou cálculos para prever a posição exata de Netuno no céu, permitindo que os astrônomos o encontrassem com um telescópio. Seu colega François Arago até disse que Le Verrier "descobriu Netuno na ponta da caneta".*

*Sem a ajuda da matemática, encontrar o planeta apenas por observação teria sido extremamente difícil e até improvável. No entanto, com as equações de movimento e a lei da gravitação universal, foi possível associar as perturbações na órbita de Urano à presença de um novo planeta: Netuno.*

*A descoberta de Netuno por meio de cálculos matemáticos confirmou a precisão das leis da gravitação de Newton. Esse feito marcou a astronomia, demonstrando que era possível prever a existência de novos corpos celestes apenas com base em modelos teóricos, antes mesmo de observá-los diretamente.*



*Foi uma das maiores realizações da mecânica clássica e a mais importante descoberta planetária da época, pois resultou de uma previsão teórica fundamentada nas equações de movimento e na lei da gravitação.*

# S VIAGEM ESPACIAL PELO CINEMA

*Aqui estão alguns filmes para você se encantar com esse tema. Divirta-se!*



- *Interestelar* (2014);
- *Estrelas além do tempo* (2016);
- *Alexandria* (2009);
- *Perdido em Marte* (2015);
- *A teoria de tudo* (2014);
- *Apollo 13: do desastre ao triunfo* (1995);
- *Gravidade* (2013);
- *2001: Uma odisseia no Espaço* (1968);
- *Contato* (1997);
- *O jogo da imitação* (2014);



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS



*Este trabalho teve como objetivo destacar a importância da Matemática na Astronomia a partir de uma análise histórica. Buscou-se contribuir para o ensino da Matemática, focando na divulgação científica, especialmente no estudo de fatos astronômicos. A pesquisa mostrou o papel essencial que a Matemática teve para impulsionar este campo de estudo. Como resultado, espera-se que a cartilha didática contribua para aumentar o interesse e o conhecimento dos estudantes sobre Matemática e Astronomia, além de promover a compreensão acerca das contribuições dessa relação ao longo do tempo para os avanços científicos e o atual cenário da ciência.*





## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



ALBERGARIA, Danilo. *O legado de Galileu para a ciência moderna. Proyecto Iberoamericano de Divulgación Científica, Comunidad de Educadores Iberoamericanos para la Cultura Científica*, 2021.

BELTRAN, Maria Helena Roxo; SAITO, Fumizaku; TRINDADE, Laís dos Santos Pinto. *História da ciência: tópicos atuais – Volume 1*. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

BOYER, Carl Benjamin; MERZBACH, Uta Caecilia. *História da Matemática*. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2012. 504 p. Tradução da 3.<sup>a</sup> edição americana.

GONÇALVES, Fátima Isabel Rodrigues; MAGALHÃES, Liliana Manuela Alves; PEREIRA, Susana Cristina Ribeiro. *Matemática na Astronomia*. 2007. 57 f. Trabalho de Projeto – Departamento de Matemática, Universidade do Minho, 2007.

GUIMARÃES, Rafael Augusto Duarte. *As Leis de Kepler sob o Ponto de Vista da Teoria da Gravitação Universal de Newton*. 2018. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Matemática) – Faculdade de Matemática, Universidade Federal do Pará, Castanhal, 2018.

KAKU, Michio. *O Cosmo de Einstein: Como a visão de Albert Einstein transformou nossa compreensão de espaço e tempo*. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

MACÊDO, Érico Santana de. *A Terra não é plana! Como a Geometria do Ensino Fundamental pode ensinar noções de Astronomia*. 2021. 81 f. Dissertação – Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2021.



MALBOUISSON, Luiz A. C.; SANTANA, Ademir E. *A mecânica e as técnicas: as equações de movimento e o desenvolvimento das ciências naturais e da tecnologia. Ciência e Sociedade (CS), Rio de Janeiro, CBPF, v. 2, n. 1, 2014. 18 f.*

MEDEIROS, Julia. *Um estudo histórico-epistemológico sobre a descoberta da matéria escura e o protagonismo da pesquisa desenvolvida por Vera Rubin. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024.*

PIRES, Antonio S. T. *Evolução das idéias da física. 2a Edição – São Paulo: Editora Livraria da física, 2011.*

RODAS NETO, Humberto Ferreira. *A importância da matemática no desenvolvimento da astronomia. 2016. 77 f. Dissertação – Programa de Mestrado Profissional em Matemática (PROFMAT), Maceió, 2016.*

SAGAN, C. *Cosmos. Trad. Vera Caputo. São Paulo: Francisco Alves, 1980.*

SALDANHA, Isabella Fernandes; PACHECO, Leticia Yukari Kozima; RACHID, Liz Mirra de Carvalho; TORRES, Stella Marinho. *Modelos matemáticos na busca por buracos negros: a perspectiva da aplicação do algoritmo CHIRP. In: Educação e Ensino de Ciências e Matemática: pesquisa, aplicação e novas tendências. Vol. 1. São Paulo: Editora Científica Digital, 2022. ISBN 978-65-5360-077-5.*

SILVA SOBRINHO, Alberto Gonzaga Paranhos da; OLIVEIRA, Cariolando Magalhães de. *Um estudo histórico da mulher na matemática: um diálogo sobre as contribuições e desafios. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Macapá, 2023.*

SOUZA, Amanda Salgueiro de; TEIXEIRA, Ricardo Roberto Plaza. *História da astronomia no Egito Antigo: métodos de medição do tempo e educação científica. Revista Eixo, Brasília-DF, v. 12, n. 1, p. 27, jan./abr. 2023. Disponível em: <https://revistaeixo.ifb.edu.br>.*



"A matemática é a única linguagem que temos em comum com a natureza".

(Stephen Hawking)

