

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS REALEZA
CURSO DE FÍSICA - LICENCIATURA**

KAMILA DA ROSA

UMA REFUTAÇÃO CIENTÍFICA DE ALGUMAS CRENÇAS TERRAPLANISTAS

REALEZA

2023

KAMILA DA ROSA

UMA REFUTAÇÃO CIENTÍFICA DE ALGUMAS CRENÇAS TERRAPLANISTAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Física - Licenciatura da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Física.

Orientador: Prof. Dr. Dennis Fernandes Alves Bessada

REALEZA

2023

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Rosa, Kamila da
UMA REFUTAÇÃO CIENTÍFICA DE ALGUMAS CRENÇAS
TERRAPLANISTAS / Kamila da Rosa. -- 2023.
72 f.:il.

Orientador: Doutor Dennis Fernandes Alves Bessada

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Licenciatura em Física, Realeza, PR, 2023.

1. astronomia. 2. história da ciência. 3. Terra
plana. 4. Terra esférica. I. Bessada, Dennis Fernandes
Alves, orient. II. Universidade Federal da Fronteira
Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

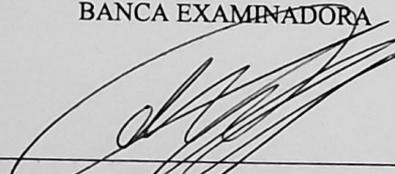
KAMILA DA ROSA

UMA REFUTAÇÃO CIENTÍFICA DE ALGUMAS CRENÇAS TERRAPLANISTAS

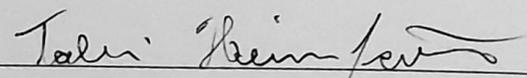
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Física - Licenciatura da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Física.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 26/04/2023.

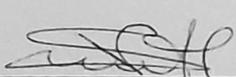
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Dennis Fernandes Alves Bessada – UFFS
Orientador



Prof. Dr. Tobias Heimfarth – UFFS
Avaliador



Prof.ª Dr.ª Viviane Scheibel de Almeida – UFFS
Avaliadora

Dedico este trabalho *in Memoriam* a meu pai Luiz Carlos e à minha irmã Keli, duas estrelas que me guiam, me inspiram e habitam o meu céu. Vocês vivem em mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e à Nossa Senhora Aparecida, que sempre estiveram presentes comigo. Onde coloquei meus pés, Eles colocaram o chão.

Aos meus pais, Luiz Carlos e Marilene, por serem meus exemplos de vida, de perseverança, de comprometimento, de integridade e por sempre apoiarem meus estudos e não me privarem das oportunidades que surgiram pelo caminho.

Aos familiares, em especial minha irmã Karine e minha tia Nassair, que por diversas vezes acreditaram mais em mim do que eu mesma.

À todos os professores e profissionais com os quais tive contato durante minha formação acadêmica, vocês são meus exemplos. Aos professores da UFFS, que deram-me suporte para aprender e colocar à prova tudo aquilo que aprendi.

Faço um agradecimento especial ao meu orientador, professor Dennis Fernandes Alves Bessada, que demonstrou ser um professor sem igual, sempre bondoso, paciente e motivador, uma pessoa que ressignificou o ato de ensinar para mim!

Aos técnicos do laboratório de Física, que além de nos ajudarem com as questões acadêmicas e sempre compartilharem seu café comigo, tornaram os dias na universidade mais leves e divertidos.

Aos amigos, novos e antigos, mas em especial: Saene, Jacob, Grazieli, Vanessa, Saiane, Dayane, Jaqueline, Ananda, Gessica, Alexandro, Luana, vocês tornaram esta caminhada melhor, vocês foram minha base, meus companheiros e motivadores. Os levarei para sempre, vocês são minha segunda família!

Por fim, agradeço à UFFS, a todos os projetos que fiz parte, a todas as experiências vividas dentro desta universidade. Foi um prazer imenso fazer parte desta comunidade acadêmica, a qual desejo vida longa e próspera.

“Docendo discimus.” (Sêneca)

RESUMO

O presente trabalho busca investigar a crença terraplanista que postula, unanimemente, o planeta Terra como sendo um disco que tem como centro o polo Norte e o polo Sul situado nas bordas de sua extremidade. A crença da Terra plana remonta à Antiguidade e, após inúmeras observações, experimentos e verificações, foi completamente refutada. Contudo, espantosamente voltou a ser difundida na atualidade, encontrando-se majoritariamente na internet, sobretudo, em sites e plataformas de vídeo terraplanistas. Objetivando conhecer as principais crenças terraplanistas disseminadas nos ambientes virtuais, efetuamos pesquisas sobre o assunto nesse mesmo meio e elencamos os seguintes temas para análise: os movimentos da Lua e do Sol, a refração da luz na atmosfera e o movimento de rotação da Terra. Tais temas foram abordados em seções distintas, nas quais buscou-se identificar as falhas conceituais e argumentos físicos, astronômicos e matemáticos que refutam as crenças terraplanistas. Ao longo do processo descrito, tornou-se evidente que o único consenso entre os modelos de Terra plana difundidos pelas comunidades terraplanistas é de que nosso planeta não tem formato esférico, além de que as suposições terraplanistas são oriundas da compreensão errada ou da má interpretação dos conhecimentos científicos e de seu respectivo método. Assim, ficou patente que, para eles, a única fonte da verdade é a experiência sensível e o senso comum, o que exclui toda e qualquer possibilidade de conhecimento científico.

Palavras-chave: astronomia; história da ciência; Terra plana; Terra esférica.

ABSTRACT

This study investigated the flat-earth belief that postulates strongly that the planet Earth is a disk with the North Pole at its center and the South Pole at its edges. The flat Earth belief dates back to ancient times, and after countless observations, experiments, and verifications have been completely disproved. However, amazingly, it has become widespread again nowadays and is mostly found on the internet, especially in terraforming websites and video platforms. Aiming to know the main widespread terraplanist beliefs disseminated in virtual environments, we researched the subject in this same medium and listed the following topics for analysis: the movements of the Moon and the Sun, the refraction of light in the atmosphere, and the Earth's rotation. These topics were addressed in separate sections, in which we sought to identify the conceptual flaws and physical, astronomical, and mathematical arguments that refute the terraplanet beliefs. Throughout the described process, it became evident that the only consensus among the flat Earth models spread by the terraplanist communities is that our planet is not spherically shaped and that the terraplanist assumptions stem from misunderstanding or misinterpretation of scientific knowledge and its method. Thus, it became patent that, for them, the only source of truth is sensitive experience and common sense, which excludes any possibility of scientific knowledge.

Keywords: astronomy; history of science; flat Earth; spherical Earth.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração aproximada da forma da Terra, representada fisicamente como um geóide	19
Figura 2 - Representação da esfera celeste	22
Figura 3 - Representação da esfera celeste em relação à posição de um observador em um dado ponto da superfície terrestre	23
Figura 4 - Representação da visão de um observador externo à esfera celeste	24
Figura 5 - Ilustração do planeta Terra envolto pela esfera celeste	25
Figura 6 - Representação do movimento de precessão efetuado pelo planeta Terra e sua similaridade com o movimento de precessão de um peão	26
Figura 7 - Esquema da esfera celeste para um dado observador na superfície terrestre no Hemisfério Sul, contendo as posições do Zênite local, Nadir local, eixo de rotação terrestre (Polo Sul- PS a Polo Norte- PN), plano do Equador, plano do Horizonte, lados Sul	27
Figura 8 - Representação das linhas imaginárias dos meridianos e dos paralelos sobre a superfície terrestre, com o plano do Equador ao centro	28
Figura 9 - Ilustração das diferentes Latitudes terrestres, que, no Equador igualam-se à 0° , aproximam-se de 90° ao se avizinharem dos polos e são iguais à 90° neles	29
Figura 10 - Ilustração da Terra com vista mais frontal do polo Norte	30
Figura 11 - Representação de modelo da Terra plana visto frontalmente	31
Figura 12 - Representação da crença da Terra plana	32
Figura 13 - Modelo da Terra plana em que o Sol e a Lua descrevem uma órbita circular ao redor do planeta, cruzando-o verticalmente	33
Figura 14 - Esquema que ilustra o movimento aparente das estrelas circumpolares no polo Norte (PN) e no polo Sul (PS).	34
Figura 15 - Representação da sombra gerada por um gnômon	36
Figura 16 - Representação da sombra mínima, média e máxima formadas pela variação na altura do Sol (distância zenital) em relação a uma vara que atua como gnômon sob os raios solares incidentes com ângulo de 23° .	37
Figura 17 - Representação do experimento de Eratóstenes e sua proposta de análise geométrica	38
Figura 18 - Esquema demonstrando a igualdade entre os ângulos alternos internos \hat{a} e \hat{e} , de uma reta t passa diagonalmente às retas paralelas r e s	38

Figura 19 - Esquema do experimento usado por Eratóstenes para medir a circunferência e raio da Terra, provando que o planeta tem formato esférico	39
Figura 20 - Representação de esferas iluminadas por uma fonte de luz posicionada próxima e distante, com a variação na orientação de seus respectivos terminadores	42
Figura 21 - Registro fotográfico da Lua e de uma bola iluminados pelo Sol, evidenciando que o terminador das duas esferas têm a mesma orientação	43
Figura 22 - Representação da refração de um feixe partindo do meio com índice de refração n_1 , com um ângulo θ_1 em relação à reta normal e adentrando ao meio n_2 , com ângulo θ_2 em relação à normal	45
Figura 23 - A refração da luz faz com que um lápis imerso na água pareça estar quebrado	45
Figura 24 - Esquema simplificado da posição verdadeira e da posição aparente de um astro	46
Figura 25 - Representação da posição aparente do Sol quando a sua posição real está em um dado ponto abaixo da linha do horizonte	47
Figura 26 - Farol marítimo situado em uma superfície acima do nível do mar, emitindo um feixe de luz	48
Figura 27 - Representação da distância D ao horizonte e sua dependência com a altura da visada H do observador e o raio da Terra R	49
Figura 28 - Representação do Argumento da Torre defendido por terraplanistas contra o movimento da Terra	52
Figura 29 - Representação do Argumento do Barco, resposta dada por Galileu Galilei ao Argumento da Torre, ideia terraplanista contra o movimento da Terra	53
Figura 30 - Representação de uma torre situada na Terra da qual um objeto é solto e cai verticalmente	54
Figura 31 - Representação de desvio para o Leste (I) e desvio para o Sul/norte (II)	55
Figura 32 - Representação do experimento do pêndulo de Foucault	59
Figura 33 - Pêndulo de Foucault no polo Norte e no Equador	61
Figura 34 - Ilustração do efeito da Força de Coriolis	63
Figura 35 - Representação do pêndulo de Foucault situado sobre a superfície terrestre, no Hemisfério Norte, posicionado há um ângulo ϕ do Equador	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CREF	Centro de Referência para o Ensino de Física
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PN	Polo Norte
PNC	Polo Norte celeste
PS	Polo Sul
PSC	Polo Sul celeste
UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

α	<i>Alpha</i>
β	<i>Beta</i>
ω	<i>Omega</i>
φ	<i>Phi</i>
π	<i>Pi</i>
θ	<i>Theta</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 SOBRE O TERRAPLANISMO.....	16
1.2 SOBRE A FORMA DA TERRA.....	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1 CONCEITOS DE ASTRONOMIA.....	21
3. OS MOVIMENTOS DA LUA E DO SOL.....	31
3.1 MOVIMENTO APARENTE DO SOL E O EXPERIMENTO DE ERATÓSTENES.....	33
3.2 DISTÂNCIA ENTRE TERRA, LUA E SOL.....	41
4. REFRAÇÃO DA LUZ NA ATMOSFERA.....	44
4.1 ALCANCE DE FARÓIS MARÍTIMOS E VISUALIZAÇÃO DE OBJETOS DISTANTES.....	48
5. ROTAÇÃO DA TERRA.....	51
5.1 CORPOS EM QUEDA.....	51
5.2 PÊNDULO DE FOUCAULT.....	59
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
REFERÊNCIAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da Astronomia possibilitou ao ser humano realizar inúmeras descobertas, desde as aplicações mais imediatas à vida, como a agricultura, até possibilitar a ida do homem à Lua e as posteriores explorações espaciais, que, além de terem marcado a História, possibilitaram grandes avanços tecnológicos.

Contudo, mesmo a humanidade tendo acumulado ao longo dos séculos diversos argumentos a favor da esfericidade da Terra – argumentos estes sustentados por evidências observacionais e pautados na Astronomia – atualmente tem-se observado um movimento que segue pela contramão da História: o terraplanismo.

Vivemos um período em que temos grande acesso a todo tipo de informação, inclusive informações científicas, porém, isso não garante que tais informações sejam compreendidas e interpretadas de forma correta. Com isso, notou-se que a difusão de interpretações errôneas acerca dos fenômenos físicos e da Astronomia cresceu, sobretudo a difusão de crenças terraplanistas.

Crenças como essa são encontradas principalmente em sites e plataformas de vídeo da internet e tem conquistado muitos seguidores. Uma pesquisa realizada pelo Instituto Datafolha em 2019 mostrou que 7% dos brasileiros acreditam que a Terra é plana (GARCIA, 2019), o que corresponde a aproximadamente 10 milhões de pessoas que sustentam uma ideia completamente contrária às inúmeras evidências disponíveis. Isso tudo, em um cenário onde a aplicação de tecnologias avançadas na Astronomia permite a exploração do espaço profundo – gerando novos e inimagináveis conhecimentos – é um ponto que merece atenção e, além de preocupar, levanta questões acerca de como os conhecimentos científicos são compreendidos e encarados na sociedade.

Diante do quadro exposto, e considerando o papel formativo essencial da escola, estariam os professores do ensino fundamental e médio bem-preparados para enfrentar o problema da difusão do terraplanismo? Independentemente das razões que conduzem à tal interpretação equivocada – por exemplo, defasagem no processo de ensino-aprendizagem das ciências e da matemática, pouca divulgação científica com linguagem acessível, pouca contextualização dos conhecimentos físicos e matemáticos aplicados no cotidiano etc. –, torna-se evidente a necessidade de se produzir textos que, em linguagem simplificada, possam auxiliar na formação de professores de Física e de Ciências, bem como ser material de pesquisa para os próprios discentes em suas investigações.

Desta forma, neste trabalho, objetivamos investigar algumas das principais e mais populares hipóteses que fundamentam a crença da Terra Plana, junto ao propósito de que o referido trabalho seja também material didático de referência para uso de professores e alunos do ensino fundamental e médio.

Para atingir o objetivo acima exposto, examinaremos três temas amplamente questionados por terraplanistas, sendo eles: o movimento da Lua e do Sol, a refração da luz na atmosfera e o movimento de rotação da Terra. A escolha destes temas de análise se deu através de um levantamento dos principais argumentos usados por terraplanistas para defender sua crença, feito em sites e vídeos que tratam do assunto. Em destaque, o site do Centro de Referência para o Ensino de Física (CREF)¹, que possui um vasto conteúdo sobre Astronomia, Física e sobre a esfericidade da Terra, os quais são produzidos, principalmente, pelo Prof. Dr. Fernando Lang da Silveira, do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS, que não apenas produz conteúdos para a página, bem como dedica-se a responder diversos terraplanistas que expõem e debatem suas crenças nos fóruns do site.

Cabe ressaltar que neste processo identificou-se outros temas relevantes a serem analisados sob o ponto de vista terraplanista, como o “domo” da Terra plana, a gravitação e o voo de aviões, mas que, em prol de uma discussão mais fundamental, não serão abordados em um primeiro momento, ficando como sugestão para trabalhos futuros.

Os três temas que este trabalho analisará serão desenvolvidos em seções distintas, nas quais buscaremos refutar cada um dos pressupostos com os argumentos físicos e astronômicos pertinentes, ressaltando as evidências que os dão suporte. Cada argumento será fundamentado e explicado de tal modo que indivíduos com pouco conhecimento em Física e Astronomia possam compreender.

1.1 SOBRE O TERRAPLANISMO

O terraplanismo foi uma das primeiras concepções acerca da forma da Terra que se tem conhecimento. Ele surgiu há séculos por meio da experiência sensível², mas, a partir de práticas como as observações sistemáticas do céu e o desenvolvimento da cartografia, os indícios de que nosso planeta não se tratava de um plano ficaram explícitos.

¹ Disponível em: <https://cref.if.ufrgs.br/>.

² Experiência assimilada através dos sentidos humanos, baseada no empirismo.

Apesar de inicialmente estar ligada à cosmovisão mítica, com o aprimoramento das sociedades e incorporação dos conhecimentos científicos, a crença da Terra plana foi superada, da mesma forma que o pensamento geocentrista deixou de ser creditado, e passou-se a conceber o modelo dos planetas com órbitas elípticas circulando o Sol como o melhor modelo que descreve o movimento planetário do nosso sistema solar.

Nesta perspectiva, e dadas as pesquisas feitas neste trabalho, observa-se que o movimento terraplanista atual, o terraplanismo moderno, não faz parte de um sistema de crenças religioso. Uma das principais motivações das crenças terraplanistas está em questionar os conhecimentos que hoje são tratados como as melhores representações da realidade (chamados por terraplanistas de verdades absolutas) e orientar sua visão de mundo através de hipóteses que buscam ser testadas empiricamente. Esta motivação é válida e benéfica para o pensamento científico, contudo, a forma com que a “ciência” terraplanista é feita, sem um método científico concreto e confiável, sem imparcialidade e baseada no senso comum, descredibiliza suas hipóteses e suas conclusões.

Ainda, sobre o pensamento terraplanista, Silveira (2017a) comenta:

Na verdade, essa concepção está associada com outras ideias em conflito com o conhecimento científico atual. Afirma-se por exemplo que: a gravidade inexistente, a Lua é auto iluminada, o Sol e os demais astros não se encontram a mais de alguns milhares de quilômetros de nós, o Sol e a Lua descrevem órbitas paralelas à superfície da Terra, as viagens espaciais são impossíveis. Nega-se a ida do homem à Lua e a existência de satélites artificiais. (SILVEIRA, 2017a, 7-8).

Por não ser baseado nos critérios da metodologia científica, outra característica marcante do terraplanismo é a presença de diversos grupos com ideias divergentes, de modo que a única unanimidade professada se refere à crença de que o formato da Terra não é esférico, mas sim, plano. Existem inúmeros modelos da Terra plana, cada um defendendo e questionando diferentes aspectos da forma de nosso planeta, os quais, inclusive, podem contradizer-se, como veremos adiante. Um exemplo disso são os modelos da Terra plana que inferem que o Sol nunca se põe sobre o horizonte e modelos que descrevem uma trajetória do Sol passando por baixo do “disco” da Terra plana.

É justamente por não haver um consenso entre modelos terraplanistas que existe a dificuldade de caracterizarmos um modelo que represente esta concepção em sua totalidade e é por isso que neste trabalho o enfoque será dado aos argumentos científicos que respondem as dúvidas e contradições terraplanistas analisadas, e não as justificativas relativas às crenças da Terra plana.

Aliás, eis aqui um equívoco epistemológico ao chamarmos o terraplanismo de *teoria*. Como bem pontua Bezerra (2019), esse movimento, que tem na internet seu maior veículo de circulação e quantidade de informação, “[...] têm uma coleção de modelos, muitos dos quais podem se contradizer.” (BEZERRA, 2019, p. 34). Tais modelos são trabalhados de forma *ad hoc*, ou seja, buscando justificar a Terra plana, seus adeptos propõem diversas hipóteses, que, somadas, inflam o referido modelo a fim de que não seja falseado.

O teste de hipóteses é uma parte crucial do método científico, já que é por meio dele que se pode confirmar ou refutar as deduções propostas. Quando uma hipótese é refutada, esta deverá ser modificada ou substituída, mas não é isso o que observamos acerca das hipóteses da Terra plana. Como exposto acima, quando falseadas, as hipóteses terraplanistas buscam novas justificativas que venham “consertar” as falhas encontradas (ARAGUAIA, 2023). Por esse motivo, trataremos do terraplanismo como uma *crença* não fundamentada. Crenças podem ser definidas como “[...] estados mentais em que se assume que algo é verdadeiro ou provável.” (CRENÇA..., 2023), contudo, se tal crença for verdadeira e justificada, teremos, ao menos, as condições necessárias para o conhecimento. Dito isto, temos que o terraplanismo é uma crença que por diversas vezes foi refutada, exatamente por não possuir fundamentação ou justificação.

1.2 SOBRE A FORMA DA TERRA

A forma da Terra é um tema de discussão desde a Antiguidade. Há cerca de dois mil anos, o filósofo Aristóteles (384 a.C. - 322 a.C.) observava o céu e supunha que a Terra deveria ter formato esférico. Outros pensadores gregos também notaram que em diferentes lugares a configuração das estrelas no céu era diferente. Com o desenvolvimento das navegações marítimas, percebia-se que, à medida que as embarcações se afastavam no horizonte, também desapareciam aos poucos. Da mesma forma, embarcações que se aproximavam da terra firme eram vistas primeiramente por seu mastro (SILVA JÚNIOR, 2023).

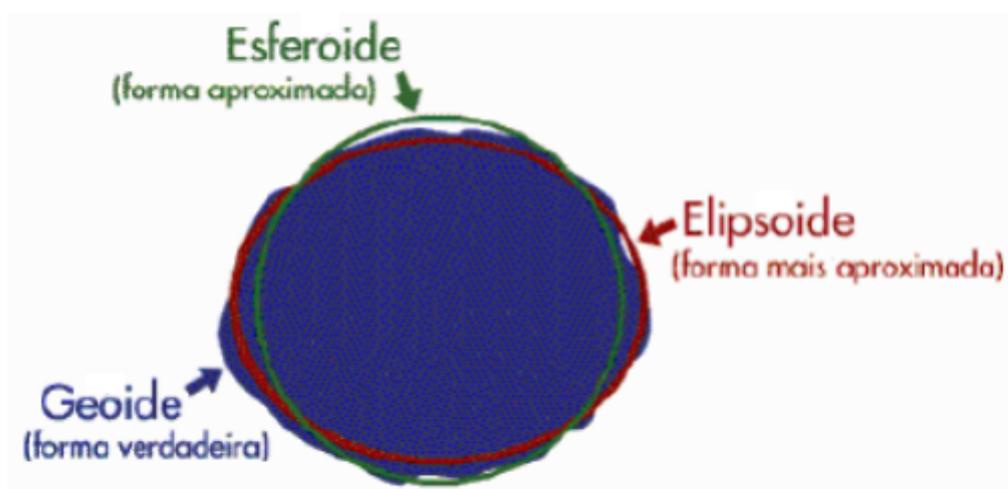
Silveira (2017a) explica:

Eratóstenes (276 a.C.-194 a.C.) fez a primeira determinação da circunferência da Terra. Quase um século depois, Posidônio (135 a.C. - 51 a.C.), de maneira independente, usando em vez do Sol a estrela Canopus (uma supergigante branco-amarelada), obteve uma medida para a circunferência terrestre [1, 2]. Durante a Idade Média, mesmo antes de o aristotelismo ter sido assumido explicitamente na Igreja Católica por Tomás de Aquino (1225-1274), predominava a

concepção da Terra como um globo entre os conhecedores das ideias gregas. (SILVEIRA, 2017a, 4-5).

Como visto, de diferentes formas o ser humano observou e demonstrou que a Terra possui formato esférico. Contudo, devido ao aprimoramento das técnicas de medição foi possível demonstrar que a superfície de nosso planeta possui irregularidades, não sendo uma esfera perfeita, mas sim, sendo o que chamamos de geóide, como vemos de forma aproximada na Figura 1.

Figura 1 - Ilustração aproximada da forma da Terra, representada fisicamente como um geóide



Fonte: Adaptada de Forma... (2014).

Na ilustração, a superfície rochosa da Terra é representada fisicamente como um geóide (indicado pela seta azul), possuindo forma arredondada e superfície irregular. A forma geométrica que mais se aproxima da estrutura geóide é o elipsoide (linha vermelha), uma esfera achatada nos polos. A ilustração compara essas formas com o esferoide (linha verde), uma das formas geométricas aproximadas que representam a forma da Terra.

Acerca da forma geoidal da Terra, o Atlas Escolar do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) explica:

Como o geóide é uma superfície de características físicas complexas, os cartógrafos buscaram a figura geométrica matematicamente definida que mais se aproximasse do geóide, possibilitando assim a realização de cálculos relacionados a medições sobre a superfície terrestre (por exemplo, medições de coordenadas de pontos, distâncias, ângulos, áreas, etc.). Essa figura é o **Elipsoide de Revolução**, definido pela rotação de uma elipse sobre o seu eixo menor. (IBGE, 2023).

Como neste trabalho buscaremos trazer argumentos que demonstram a não planicidade da Terra, mesmo sabendo que o planeta não é uma esfera perfeita, iremos usar o termo "esférica" para se referir à forma da Terra apenas como uma aproximação, de modo a tornar as explicações mais simples de serem compreendidas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, introduziremos conceitos astronômicos e físicos necessários ao entendimento dos assuntos abordados neste trabalho. Como objetivamos que este estudo seja de fácil entendimento e voltado ao público em geral, buscaremos trazer conhecimentos básicos e necessários ao entendimento das problemáticas aqui trabalhadas, em uma linguagem clara e acessível.

De antemão, salientamos que, dado o caráter didático do trabalho, serão utilizadas aproximações acerca de medidas, como por exemplo, o período de rotação da Terra, que se estima em 23h 56min. 4,09s., mas poderá ser adotado como 24h, ou até mesmo a aproximação da geometria da Terra sendo uma esfera perfeita e, portanto, tendo uma circunferência igual a $2\pi R$, sendo R o raio da Terra.

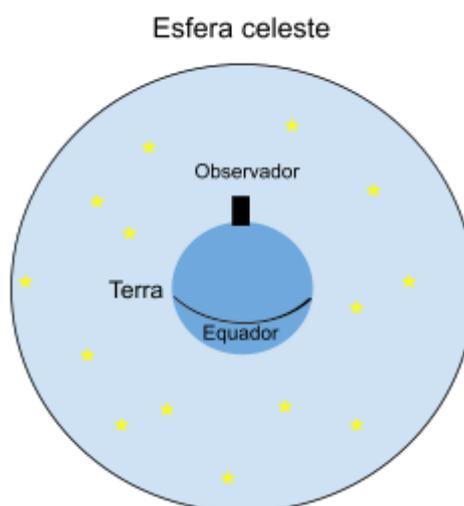
2.1 CONCEITOS DE ASTRONOMIA

Ao observarmos o céu noturno, temos a impressão de que os astros se encontram todos muito distantes, sendo apenas pontos luminosos dispostos aleatoriamente acima de nós. Por, de fato, estarem distantes, não temos a noção da profundidade na qual cada corpo celeste está situado.

Os gregos antigos, por não possuírem instrumentos que medissem grandes distâncias astronômicas, passaram a considerar que os corpos celestes estavam “incrustados” em uma *esfera celeste*, a qual parecia girar em torno de nosso planeta. Para o astrônomo grego Eudoxo de Cnido, por exemplo, cada planeta possuía uma esfera celeste, a qual era real e feita de um material celeste, distinto de qualquer material existente na Terra.

Para nós, hoje, a esfera celeste trata-se de uma esfera imaginária, uma representação do céu que encontra-se centrada na Terra e em seu respectivo observador, como vemos na Figura 2, que demonstra a esfera celeste, a qual tem em seu centro o planeta Terra e um observador local sobre a superfície terrestre, indicado por um retângulo preto.

Figura 2 - Representação da esfera celeste



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

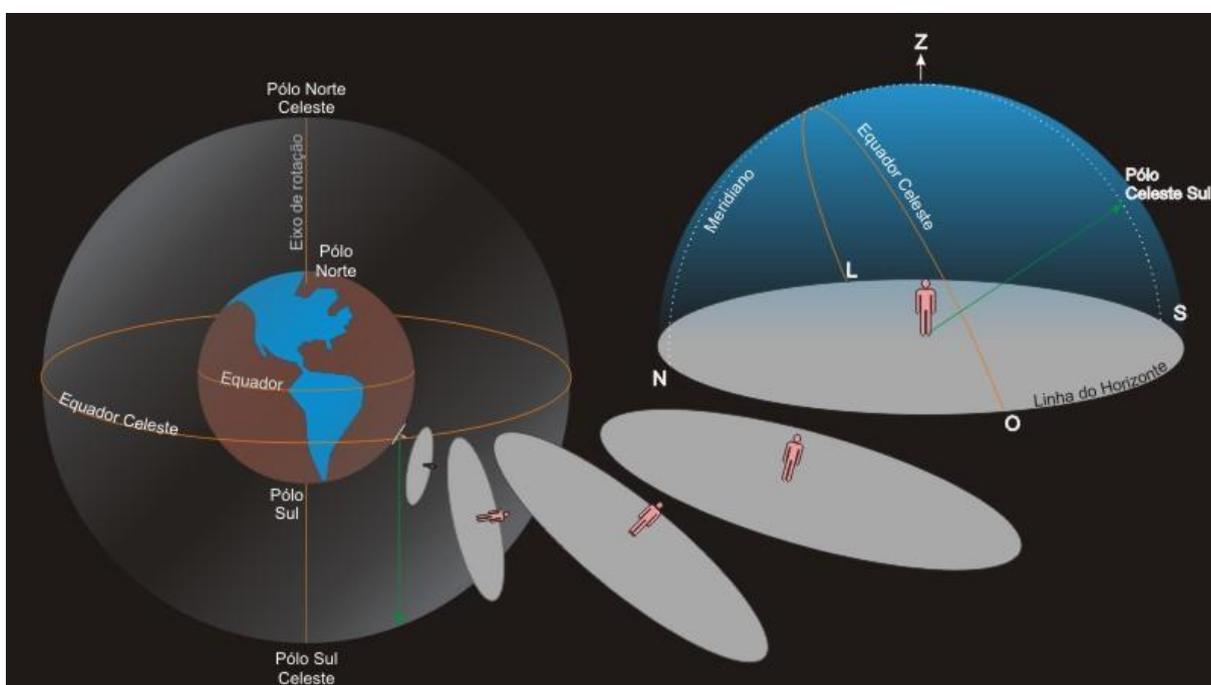
Este pensamento de que a Terra é um local imóvel e que todo céu gira ao nosso redor perdurou por séculos, mas a observação sistemática da posição dos astros no céu por longos períodos evidenciou que, na realidade, é nosso planeta que está em movimento e os corpos celestes acima de nós (sejam estrelas, satélites naturais ou planetas) também se movimentam. Assim, um observador em repouso em relação à Terra (por exemplo, um indivíduo em um dado local fazendo observações do céu com seu telescópio) perceberá que os astros (como o Sol) se movimentam no céu; porém, tal movimento observado é apenas *aparente*, pois, na realidade, é a Terra que está efetivamente em movimento de rotação (ao redor de seu próprio eixo) e de translação ao redor do Sol. Visto isso, dizemos que o movimento é relativo ao referencial em que se está observando.

Tendo o movimento aparente dos astros em vista, nas observações a longo prazo da esfera celeste, no Hemisfério Sul, por exemplo, pôde-se identificar que os corpos celestes visíveis da superfície da Terra nascem do lado leste e se põem ao oeste, sendo estes movimentos aparentes.

Com o conceito de esfera celeste tornou-se possível definir planos e pontos contidos na mesma que servissem para determinar a localização dos astros no céu (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2010). A princípio, imaginemos um observador sobre a superfície da Terra, nesse referencial o observador é o centro. Chamamos de *Horizonte* o “[...] plano tangente à Terra no lugar em que se encontra o observador [...]” (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2010), como vemos na ilustração apresentada na Figura 3, que contém a representação da esfera celeste e a

posição de um observador em um dado ponto da superfície terrestre. Como é possível notar, a localização do observador na Terra influencia na posição em que o Equador celeste e a linha dos polos estarão. Sendo a esfera celeste imaginária e abrangente, sua dimensão é muito maior que a Terra, então, o raio do planeta é desprezível frente ao da esfera. Assim, “[...] considera-se que o Horizonte é um círculo máximo da esfera celeste, ou seja, que passa pelo centro da esfera, dividindo a esfera celeste em dois hemisférios, o das estrelas visíveis e o das invisíveis, naquele momento e naquele lugar.” (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2010).

Figura 3 - Representação da esfera celeste em relação à posição de um observador em um dado ponto da superfície terrestre



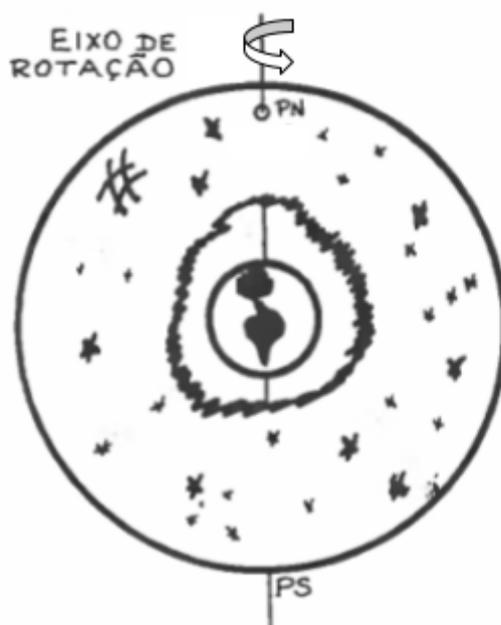
Fonte: Oliveira Filho e Saraiva (2010).

Aplicando a representação da esfera celeste que gira de forma aparente (pois o que vemos na realidade se trata da rotação da Terra), um observador “A” estando, por exemplo, no Hemisfério Sul terrestre, verá um céu diferente, ou seja, uma configuração de esfera celeste diferente, e verá que o mesmo rotaciona em um sentido diferente do que é visualizado por um observador “B”, situado no Hemisfério Norte da Terra. Por exemplo, no Hemisfério Sul da Terra, o observador “A” vê que o céu gira aparentemente de leste para oeste (sentido anti-horário). Enquanto isso, no polo terrestre do Hemisfério Sul, o polo Sul, vê-se o céu girando aparentemente ao redor de si mesmo, ou seja, as estrelas parecem girar ao redor do

eixo de rotação da Terra (que passa pelos polos terrestres), mas seguem rotacionando no sentido anti-horário.

Para o observador “B”, no Hemisfério Norte, o eixo de rotação da Terra, e conseqüentemente o céu, giram aparentemente no sentido horário. Assim, vemos que aquilo que é visto por um observador dependerá de sua localização e do referencial adotado. Desta forma, por exemplo, a visão de um observador fora da esfera celeste, é de que no polo Norte a esfera celeste gira no sentido anti-horário (Figura 4).

Figura 4 - Representação da visão de um observador externo à esfera celeste



Fonte: adaptada de Boczko (1984, p. 37).

Na Figura 4, temos a representação da visão de um observador externo à esfera celeste, a qual é interceptada pela linha imaginária do eixo de rotação, que, no polo Norte, rotaciona no sentido anti-horário.

Uma vez enunciado que a Terra possui movimento de rotação ao redor de um eixo próprio, iremos diferenciar o *dia sideral* e o *dia solar*. O *dia sideral* trata-se do período da rotação da Terra em torno de seu próprio eixo, tomando como referência um ponto distante, como uma estrela fora do sistema solar, e é estimado em 23h 56min 4,09s. O *dia solar* refere-se à rotação da Terra tomando como referência o próprio Sol, assim, o dia solar possui 24h.

Assim como existem planos e pontos que servem para localizações geográficas, também utilizamos alguns destes para tratar de posições astronômicas, como é o caso do

Equador celeste, já trazido na Figura 3, que se trata de um “[...] círculo máximo em que o prolongamento do equador da Terra intercepta a esfera celeste.” (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2010). No mesmo sentido, o *plano do Equador* trata-se de um plano perpendicular ao eixo de rotação da Terra e que passa pelo centro do planeta (BOCZKO, 1984, p. 37).

O Equador celeste ainda divide a esfera celeste em duas partes, chamadas de *Hemisfério Norte* e *Hemisfério Sul*. O Hemisfério Norte contém o polo Norte e, analogamente, o Hemisfério Sul contém o polo Sul e é o oposto ao Hemisfério Norte.

Levando em consideração que a Terra rotaciona, ao prolongarmos seu eixo de rotação como uma linha imaginária que intercepta a esfera celeste, podemos definir os pontos fixos e imaginários chamados de polos celestes. O polo Norte celeste trata do “[...] ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra intercepta a esfera celeste, no hemisfério norte [...]” (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2010) e o Polo Sul celeste o “[...] ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra intercepta a esfera celeste, no hemisfério sul.” (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2010). Vejamos a Figura 5 que elucida estas referências de localizações astronômicas. Nela, o eixo de rotação da Terra passa pela mesma e atravessa a esfera celeste, mostrando a localização dos polos celestes, coincidentes com os polos terrestres. A linha do Equador terrestre também é representada e seu prolongamento coincide com o Equador celeste.

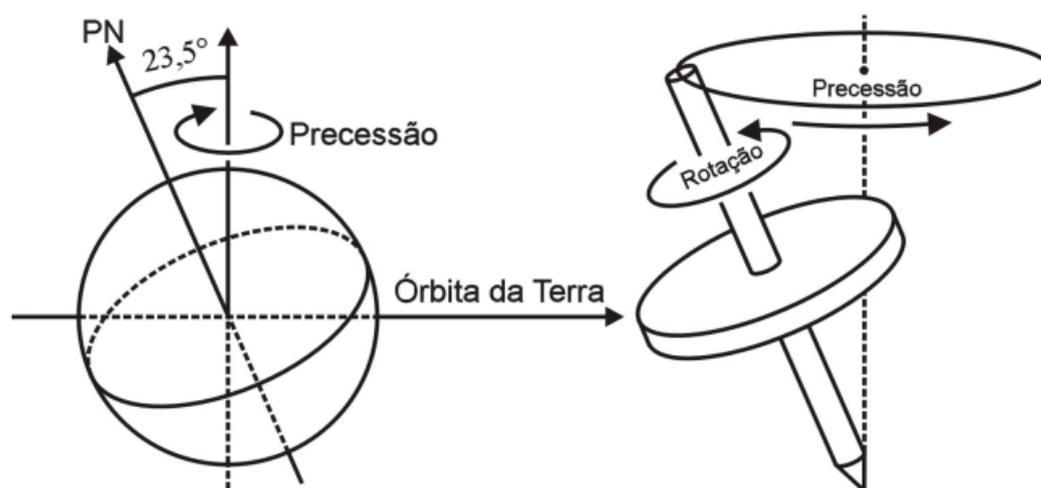
Figura 5 - Ilustração do planeta Terra envolto pela esfera celeste



Fonte: Oliveira Filho e Saraiva (2010).

Analisando os movimentos que o planeta Terra possui e que são relevantes neste estudo, temos o movimento de *Precessão da Terra*³, que advém das forças diferenciais do Sol e da Lua sobre a Terra. Este movimento, tal qual o que um peão perfaz quando sua rotação está desacelerando, ocorre devido o eixo de rotação do planeta ter uma inclinação de aproximadamente $23,5^\circ$ em relação ao plano de sua órbita⁴, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Representação do movimento de precessão efetuado pelo planeta Terra e sua similaridade com o movimento de precessão de um peão



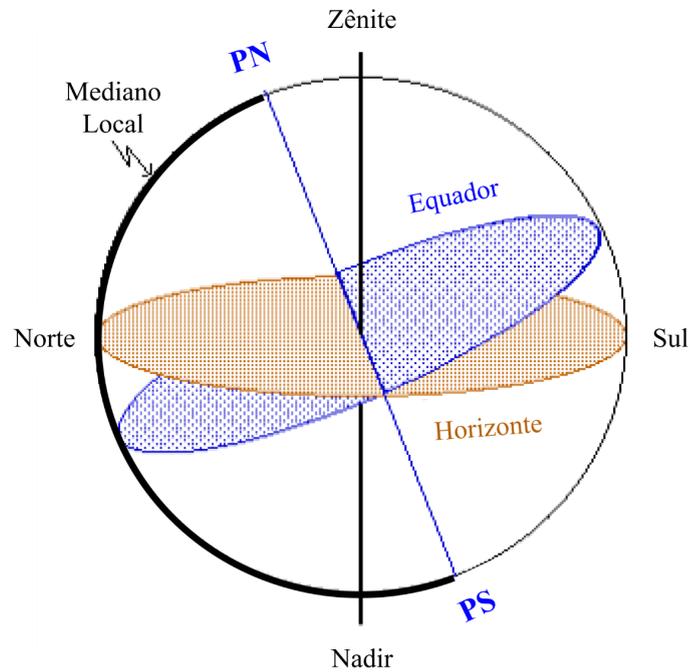
Fonte: Kilhian (2009).

Voltando ao âmbito da esfera celeste centrada em um observador na superfície da Terra, traçando uma linha imaginária que vai do topo da cabeça do observador e “espeta” tal esfera no ponto mais alto, definimos o *Zênite*, o qual é perpendicular ao Horizonte (faz ângulo de 90° com o horizonte). O ponto que se situa diametralmente oposto ao zênite é chamado de *Nadir*. A Figura 7 traz um esquema destas posições, agora levando em conta o ângulo de inclinação do planeta Terra devido sua precessão.

³ Para saber mais sobre o movimento de Precessão da Terra, sugerimos que se visite o site: <http://astro.if.ufrgs.br/fordif/node8.htm>.

⁴ Em Astronomia, refere-se à trajetória circular descrita por um corpo celeste ao redor de outro.

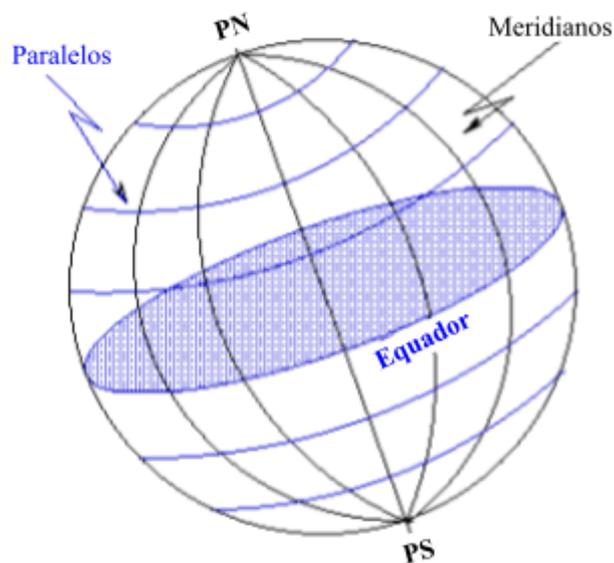
Figura 7 - Esquema da esfera celeste para um dado observador na superfície terrestre no Hemisfério Sul, contendo as posições do Zênite local, Nadir local, eixo de rotação terrestre (Polo Norte- PN a Polo Sul- PS), plano do Equador, plano do Horizonte, lados Sul



Fonte: adaptada de Oliveira Filho e Saraiva (2010).

Como vemos na Figura 7, o *Meridiano* será qualquer semicírculo máximo que contém os dois polos na esfera celeste. Chamamos de *Meridiano Local* o meridiano que passa pelo Zênite do local. Ainda, temos a linha imaginária denominada de *Paralelo*, que trata de qualquer linha circular paralela ao Equador, como vemos na Figura 8.

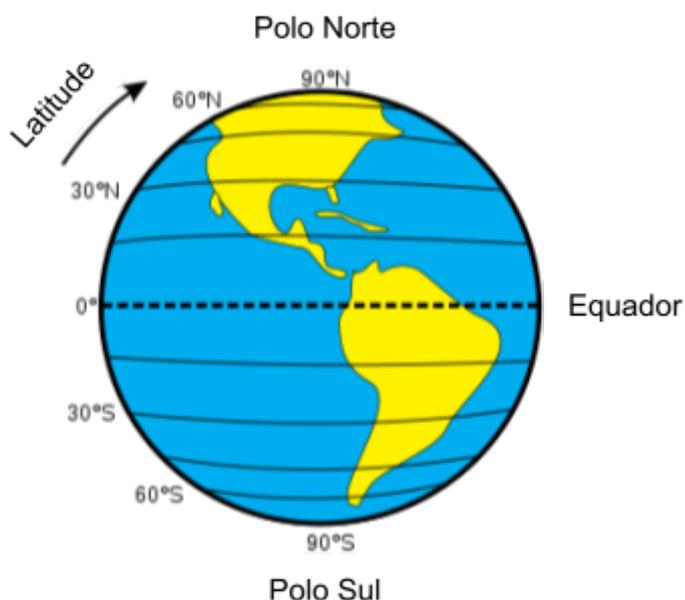
Figura 8 - Representação das linhas imaginárias dos meridianos e dos paralelos sobre a superfície terrestre, com o plano do Equador ao centro



Fonte: adaptada de Oliveira Filho e Saraiva (2010).

Por fim, outros dois conceitos importantes para a localização de lugares tanto na superfície terrestre quanto na esfera celeste são a *Latitude* e a *Longitude*. A distância angular de um local em relação ao Equador chama-se *Latitude*, a qual é medida sobre o meridiano do local em graus, minutos e segundos e pode variar entre 0° e 90° , tanto para o Norte (N) quanto para o Sul (S) (ROMEU, 2023). Abaixo encontra-se uma representação de diferentes Latitudes em relação ao Equador.

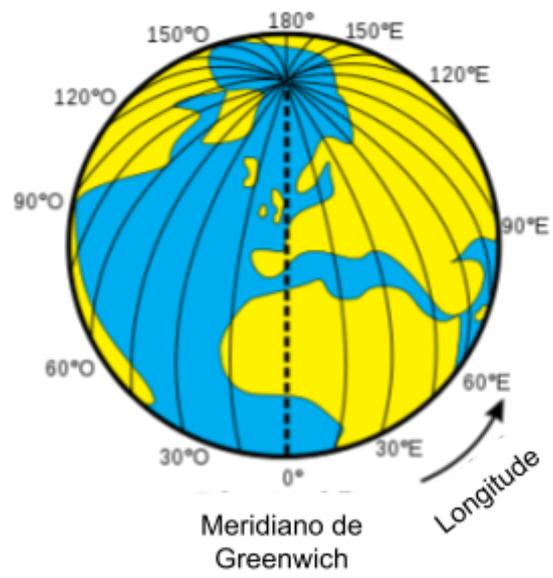
Figura 9 - Ilustração das diferentes Latitudes terrestres, que, no Equador igualam-se à 0° , aproximam-se de 90° ao se avizinharem dos polos e são iguais à 90° neles



Fonte: adaptada de Barreiros (2023).

Já a *Longitude* trata-se da distância angular entre o meridiano do local do observador e o meridiano de Greenwich, sendo medida sobre o paralelo local do observador em graus, minutos e segundos, e podendo variar de 0° a 180° , para Leste (E) ou Oeste (O) (ROMEU, 2023), como observamos na Figura 10, que ilustra a Terra de uma visão mais frontal, voltada ao polo Norte, onde as linhas que expressam a Longitude cortam o planeta perpendicularmente ao plano do Equador e são medidas a partir do meridiano principal (em linha pontilhada), o meridiano de Greenwich.

Figura 10 - Ilustração da Terra com vista mais frontal do polo Norte



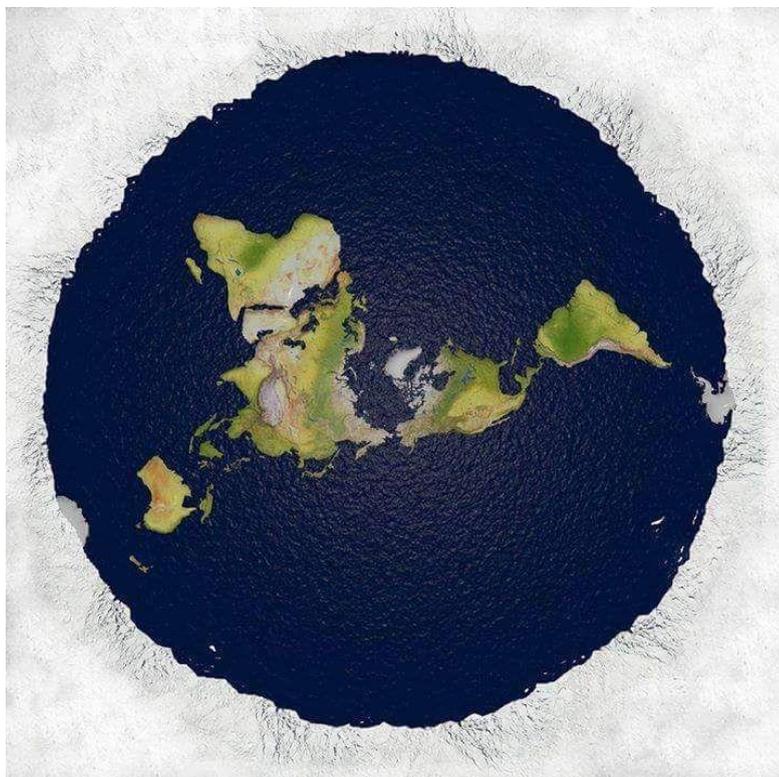
Fonte: adaptada de Barreiros (2023).

3. OS MOVIMENTOS DA LUA E DO SOL

Dentre as inúmeras crenças sobre a Terra Plana, uma que se sobressai é a que estabelece que o Sol e a Lua orbitam a Terra em um mesmo plano (são coplanares) e estão em órbitas paralelas ao suposto disco terrestre. Desta forma, ambos os astros se movem em trajetórias circulares ao redor do polo norte terrestre e têm a característica de não ultrapassar o horizonte terrestre, ou seja, Sol e Lua nunca se poriam.

Bezerra (2019) exprime que, resumidamente, para a maioria das crenças terraplanistas, “[...] a Terra é um disco com o Polo Norte localizado no centro, e o Polo Sul é na verdade uma cordilheira intransponível que percorre o perímetro do disco da Terra [...]” (BEZERRA, 2019, p. 34), como podemos observar na representação da Figura 11, que ilustra o modelo da Terra plana visto frontalmente, com o polo Norte ao centro e tendo o polo Sul como sendo uma grande cordilheira que envolve o disco do planeta.

Figura 11 - Representação de modelo da Terra plana visto frontalmente



Fonte: Introduction... (2016).

Nesse modelo, o diâmetro do Sol seria muito menor do que o medido astronomicamente, que é de, aproximadamente, 1.392.700 km, mas sem consenso para o seu

tamanho real. Ainda, nossa estrela e a Lua situar-se-iam tal qual holofotes acima da Terra plana, a uma distância de de ~5000 km da superfície, alternando sua posição à medida que se movimentam em suas órbitas (tanto no eixo horizontal, quanto no vertical, de acordo com algumas crenças terraplanistas), o que criaria a aparência de dias e noites em diferentes lugares do planeta (BEZERRA, 2019). Além disso, toda atmosfera terrestre (por muitos terraplanistas chamada de *atmosphânica*) estaria envolta por uma espécie de domo, o qual não se tem consenso se de fato trata-se de um domo com superfície rígida ou um aglomerado de gases que limitam a atmosfera terrestre do restante do espaço.

As Figuras 12 e 13 ilustram modelos distintos de Terra plana que contemplam alguns dos aspectos citados acima. Na Figura 12, tem-se uma representação da crença da Terra plana, em que se observa o Sol e a Lua orbitando o mesmo plano, acima da superfície de um planeta Terra planificado e envolto pelo domo. Nessa versão, vemos que a órbita solar e a órbita lunar são coplanares e vemos também a existência de duas Luas, a Lua com “face iluminada” e a Lua “não iluminada”. Na Figura 13, por sua vez, visualiza-se o modelo da Terra plana no qual o Sol e a Lua descrevem uma órbita circular ao redor do planeta, cruzando-o verticalmente.

Figura 12 - Representação da crença da Terra plana



Fonte: Eler e Versignassi (2023).

Figura 13 - Modelo da Terra plana em que o Sol e a Lua descrevem uma órbita circular ao redor do planeta, cruzando-o verticalmente



Fonte: Peppe (2015).

Visto que a posição do Sol e da Lua em relação ao planeta Terra é uma questão abordada na crença terraplanista, iniciaremos nossa discussão trazendo evidências observadas diariamente que refutam as crenças acima expostas.

3.1 MOVIMENTO APARENTE DO SOL E O EXPERIMENTO DE ERATÓSTENES

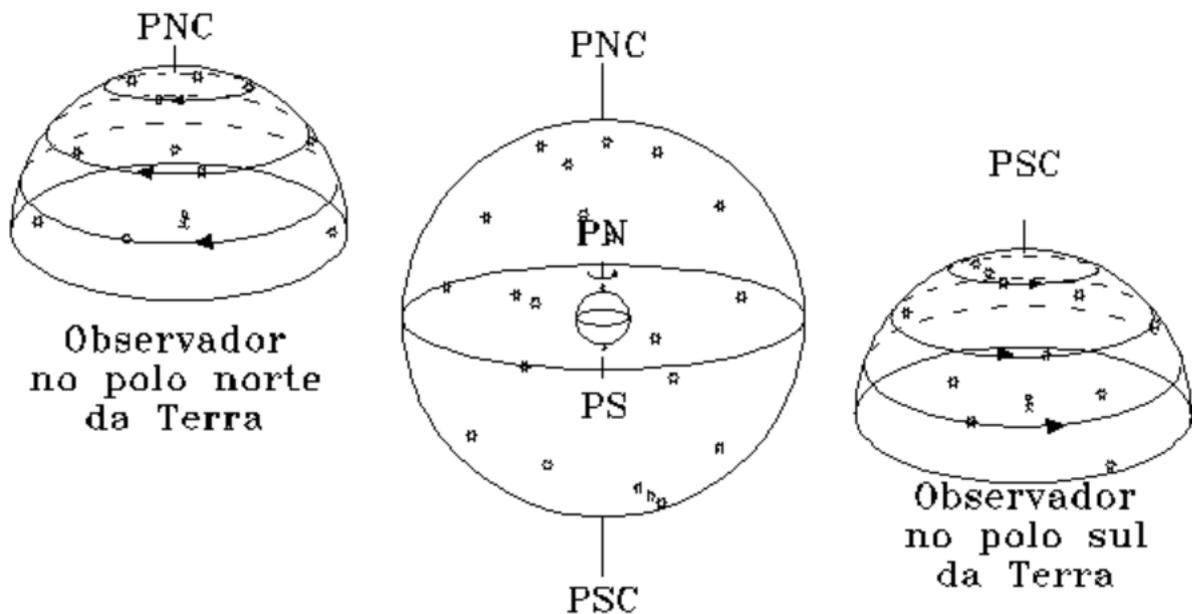
Partimos do referencial onde o observador encontra-se no Hemisfério Sul e situa-se em repouso na superfície do planeta Terra. Por meio das observações diárias do Sol, pode-se concluir que ele nasce no lado leste do horizonte, ascende pelo céu durante o dia e, após alcançar a altura máxima no céu, declina no lado oeste do horizonte. Este movimento dura cerca de 12 horas e é definido como o período claro do dia (manhã e tarde).

Ao longo do ano, este movimento diário do Sol tende a mudar gradativamente, de forma que seu nascer e seu ocaso⁵ no horizonte variem, mas ainda mantenham-se ocorrendo no lado do horizonte leste e oeste, respectivamente. Tal como o Sol, as demais estrelas visíveis no céu também se movem do lado leste para o oeste, no mesmo sentido de ascensão e declinação sobre o horizonte. Contudo, dependendo da posição em que o observador estiver

⁵ Declínio de um astro no céu até desaparecer abaixo do horizonte, é o seu poente.

na Terra, algumas estrelas vão se mover no céu sem jamais nascer ou se pôr, mas ficarão dispostas acima do horizonte, estas, são as chamadas *estrelas circumpolares* (estrelas que giram ao redor do centro, do zênite do local), cujo fenômeno pode ser visualizado nos polos terrestres (BOCZKO, 1984). Na Figura 14, observamos um esquema que ilustra o movimento aparente das estrelas circumpolares no polo Norte (PN) e no polo Sul (PS). Para um observador no polo Norte, observando o polo Norte celeste (PNC), tais estrelas giram aparentemente no sentido horário ao redor do eixo de rotação da Terra, enquanto um observador no polo Sul celeste (PSC) vê as estrelas girando aparentemente no sentido anti-horário. A parte central do esquema contido da Figura 14 mostra a visão da esfera celeste para um observador fora da mesma, que vê as estrelas contidas nesta girando no sentido anti-horário.

Figura 14 - Esquema que ilustra o movimento aparente das estrelas circumpolares no polo Norte (PN) e no polo Sul (PS).



Fonte: A esfera... (2000).

Ainda que este movimento aparente de estrelas seja similar ao movimento do Sol, sob a perspectiva de um observador centrado na superfície da Terra e em repouso em relação a este referencial, ao longo do ano as constelações vistas neste período, também tendem a variar. Observando cuidadosamente, pode-se verificar que uma configuração de céu só tornará a repetir-se após um ano, ou seja, há uma periodicidade de um ano no movimento das estrelas,

o qual é chamado de *movimento anual aparente* das estrelas (BOCZKO, 1984).

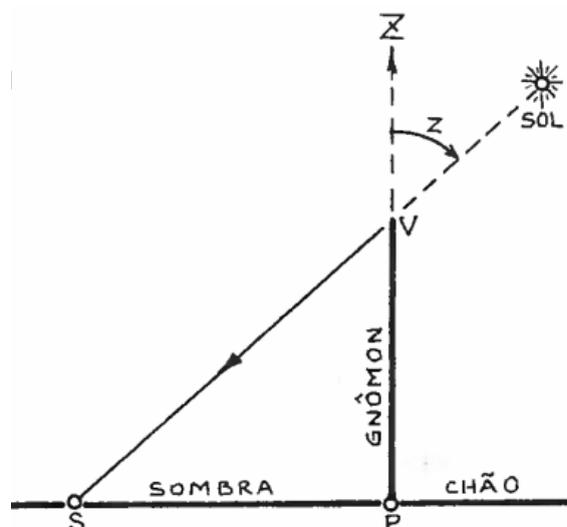
Pensando na crença terraplanista de que o Sol e a Lua estão na mesma órbita acima da Terra, aqui já cabe uma prova de que tal crença não é válida, pois as estrelas, assim como o Sol, possuem movimento anual aparente (considerando o referencial de um observador parado na Terra) como descrito anteriormente. As crenças terraplanistas não justificam corretamente o movimento das estrelas circumpolares e das demais estrelas visíveis no céu.

Continuando nossa discussão, e partindo dos apontamentos anteriores e de observações feitas desde os tempos mais remotos, sabemos que a sombra de objetos varia ao longo do dia, sendo uma sombra longa no nascer do Sol, encurtando gradativamente à medida que esta estrela ascende no céu, tornando-se mínima quando o Sol está no ponto mais alto do céu (quando é meio-dia), voltando a alongar-se até o ocaso e tornando-se máxima no pôr do Sol. Isso decorre do movimento diário da referida estrela.

A variação no tamanho das sombras mínimas também ocorre ao longo do ano, devido justamente ao *movimento anual aparente* do Sol. Assim, podemos inferir que a altura do Sol ou sua distância zenital z (distância em que o Sol se encontra no ponto mais alto do céu ou da esfera celeste, no referencial que determinamos anteriormente) tende a modificar-se ao longo do ano, ao passar pelo meridiano local (BOCZKO, 1984). Na Figura 15, podemos observar a representação da sombra (segmento de reta \overline{SP}) projetada por um gnômon⁶ quando a luz solar incide sobre ele; Z representa o zênite do local e z a altura do Sol ou a sua distância zenital no referido hemisfério.

⁶ Instrumento astronômico usado desde a Antiguidade. Em sua forma simples, trata-se de uma vareta vertical que, exposta ao Sol, projeta uma sombra.

Figura 15 - Representação da sombra gerada por um gnômon



Fonte: Boczko (1984, p. 120).

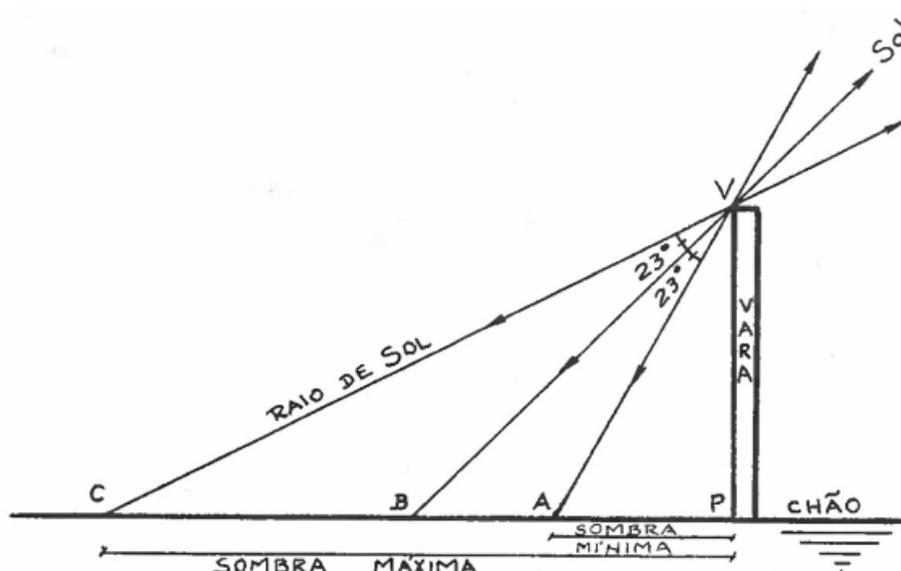
Com esta informação, podemos introduzir alguns fenômenos observados ao longo do ano. Quando a altura do Sol estiver em seu tamanho mínimo, temos o início do verão no referido hemisfério em que estamos observando, ou seja, temos o solstício de verão. O solstício de verão é o período em que a Terra recebe a maior quantidade de raios solares, devido o eixo de rotação do planeta estar em sua inclinação máxima direcionado ao Sol. Assim, quando este fenômeno ocorre para um dado hemisfério, neste local, os períodos claros do dia tendem a ser mais longos. Já, quando a distância zenital for máxima, inicia-se o inverno e, portanto, o solstício de inverno. O solstício de inverno ocorre no hemisfério contrário ao que ocorre o solstício de verão, pois nesse hemisfério contrário o eixo de rotação terrestre está declinado em relação ao Sol e, portanto, recebe menor quantidade de radiação solar. Assim, no solstício de inverno temos, ao longo do dia, períodos escuros mais longos do que os períodos claros.

Além disso, durante o ano o Sol percorrerá o meridiano de um dado local ocupando uma distância zenital média, em relação à distância zenital máxima e mínima. Quando isso ocorrer após o verão, teremos o início do outono e o chamado equinócio de outono. Quando o Sol alcançar a distância zenital intermediária após o inverno, temos então o início da primavera e o equinócio de primavera (BOCZKO, 1984).

Na Figura 16, é possível observar que a variação da altura do Sol (distância zenital z) há também variação no tamanho da sombra projetada por uma vara/gnômon, sendo o segmento de reta \overline{AP} a sombra mínima (onde ocorre o verão no referido hemisfério), o segmento \overline{BP} a sombra média (onde ocorre as “meias estações” primavera e outono no

referido hemisfério) e o segmento \overline{CP} a sombra máxima (que marca o inverno no referido hemisfério).

Figura 16 - Representação da sombra mínima, média e máxima formadas pela variação na altura do Sol (distância zenital) em relação a uma vara que atua como gnômon sob os raios solares incidentes com ângulo de 23° .



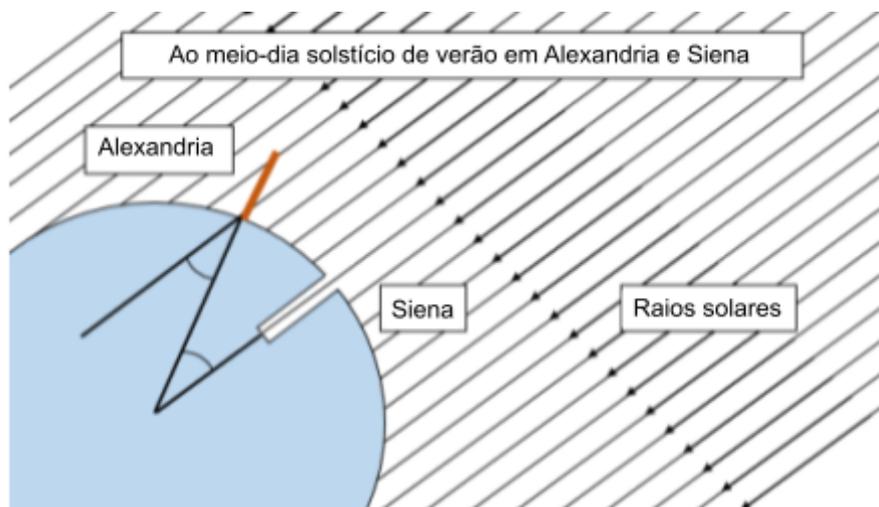
Fonte: Boczko (1984, p. 10).

Com estas informações, podemos analisar a observação realizada pelo astrônomo Eratóstenes, no século III a.C., em que ele determinou o raio da Terra. Em um dado dia de solstício de verão, estando em Alexandria, Eratóstenes observou que, ao meio-dia, um gnômon apresentava uma pequena sombra, mas que, no mesmo dia em Siena, cidade distante ~800 km de Alexandria, este fenômeno não ocorria, de forma que até mesmo um poço ao ser iluminado pelo Sol do meio-dia, não apresentava sombra alguma. Com estas observações Eratóstenes já pôde inferir que a Terra tinha forma esférica e não plana, pois se fosse plana, os raios solares ao incidirem na superfície terrestre formariam sombras com o mesmo tamanho e com o mesmo ângulo zenital em todos os lugares.

Seguindo o raciocínio de Eratóstenes, tendo conhecimento da distância entre estas duas cidades, do tamanho da sombra projetada pelo gnômon em Alexandria e do comprimento deste gnômon, o astrônomo pôde mensurar o ângulo com que os raios solares atingiam o gnômon (ângulo zenital) em Alexandria. Estando o Sol a uma grande distância da Terra, mesmo este sendo uma fonte isotrópica, ou seja, que emite raios luminosos igualmente em todas as direções, tais raios solares que incidem na superfície da Terra serão paralelos

entre si e, ao cruzarem um gnômon farão um ângulo com ele, como podemos observar na representação da Figura 17.

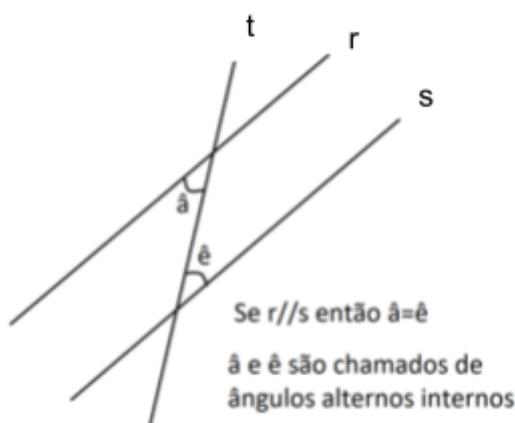
Figura 17 - Representação do experimento de Eratóstenes e sua proposta de análise geométrica



Fonte: Adaptada de Santos, Carvalho Filho e Teixeira (2021, p. 103).

Aplicando seus conhecimentos de geometria, Eratóstenes observou que para a situação ilustrada acima a congruência⁷ dos ângulos alternos internos ($\hat{a}=\hat{e}$) de duas retas paralelas ($r \parallel s$) cortadas em diagonal por outra reta (t), era válida. A Figura 18 traz um esquema desta igualdade.

Figura 18 - Esquema demonstrando a congruência entre os ângulos alternos internos \hat{a} e \hat{e} , de uma reta t passa diagonalmente às retas paralelas r e s

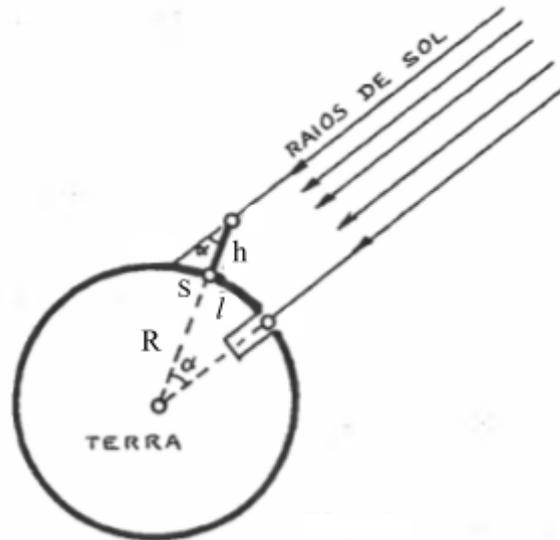


Fonte: Santos, Carvalho Filho e Teixeira (2021, p. 103).

⁷ Dizemos que dois ângulos são congruentes se ambos têm a mesma medida.

A Figura 18 traz a aplicação da congruência dos ângulos alternos internos, expressos agora como α , na situação demonstrada na Figura 19.

Figura 19 - Esquema do experimento usado por Eratóstenes para medir a circunferência e raio da Terra, provando que o planeta tem formato esferoidal



Fonte: modificada de Boczko (1984, p. 267).

Observemos na Figura 19 as seguintes medidas:

l - distância entre Alexandria e Siena (≈ 5000 estádios- unidade de medida utilizada na época de Eratóstenes para medir grandes distâncias-, o que equivale à ≈ 800 km);

h - altura do gnômon;

S - tamanho da sombra do gnômon;

R - raio da Terra;

C - circunferência da Terra;

α - ângulo formado entre o raio solar e o gnômon, coincidente com o ângulo entre as cidades de Alexandria e Siena em relação ao centro da Terra.

Sabendo que o comprimento total de uma circunferência é $2\pi R$, Eratóstenes fez a seguinte relação:

$$\frac{l}{C} = \frac{\alpha}{2\pi} \quad (1)$$

A relação 1 trata-se da razão entre a distância entre as cidades de Alexandria-Siena (l) e a circunferência da Terra (C) ser igual à razão entre o ângulo entre as cidades (α) e o ângulo total da circunferência terrestre. A expressão acima pode ser escrita como:

$$C = \frac{2\pi l}{\alpha} \quad (2)$$

A fim de mensurar α , trabalharemos com a relação trigonométrica:

$$\tan \alpha = \frac{\text{Cateto Oposto}}{\text{Cateto Adjacente}} = \frac{S}{h} \quad (3)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{S}{h} \right) \quad (4)$$

Na época, Eratóstenes sabia que o valor de $\alpha = 7,2^\circ$ ⁸. Para converter tal ângulo de graus para radianos, fazemos:

$$\alpha (\text{radianos}) = \frac{\alpha (\text{graus})}{360^\circ} 2\pi \quad (5)$$

$$\alpha (\text{radianos}) = \frac{7,2^\circ}{360^\circ} 2\pi \quad (6)$$

$$\alpha (\text{radianos}) = 0,02^\circ 2\pi \quad (7)$$

Substituindo o valor de α em radianos na equação 2, que trata da circunferência da Terra, teremos:

$$C = \frac{2\pi l}{0,02^\circ 2\pi} \quad (8)$$

$$C = \frac{2\pi \cdot 5000 \text{ estádios}}{0,02^\circ 2\pi} \quad (9)$$

$$C = 250.000 \text{ estádios} \quad (10)$$

Visto que cada estádio equivale à $\sim 0,157$ km, aplicando regra de três ao resultado da

⁸ Sugerimos a leitura de um artigo que detalha como Eratóstenes chegou ao valor do ângulo sendo $7,2^\circ$, disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/abakos/article/view/24571>.

circunferência da Terra, trazido na equação 10, teremos uma circunferência terrestre de $C = 39\,250$ km. Com este valor podemos mensurar o raio da Terra, visto que:

$$C = 2\pi R \quad (11)$$

$$R = \frac{C}{2\pi} = \frac{39250 \text{ km}}{2\pi} \quad (12)$$

$$R = 6246,83 \text{ km} \quad (13)$$

Mesmo que o experimento de Eratóstenes tenha erros associados às medições efetuadas, ele apresentou um valor para o raio da Terra que é aproximado do real. Na ocasião, Eratóstenes mensurou o raio da Terra como tendo ~ 6247 km (como visto na expressão 13), valor muito aproximado do que conhecemos hoje, que é de ~ 6370 km, assim, temos uma diferença de ~ 123 km entre as medidas feitas por Eratóstenes e as atuais. Luiz *et al.* (2010) aprofundou-se na discussão dos erros associados ao experimento do astrônomo e estimou que o erro do raio da Terra medido pelo mesmo estaria no intervalo de 6247 ± 1893 km, ou seja, cerca de 30,3% ⁹ do raio de nosso planeta. Apesar desse percentual ser grande, para uma medida realizada há cerca de 2300 anos, em comparação com as medidas atuais realizadas com os aparatos tecnológicos e precisos, as medições feitas por Eratóstenes demonstraram boa aproximação com o valor real do raio da Terra e também a engenhosidade do experimento deste astrônomo (LUIZ *et al.*, 2010).

3.2 DISTÂNCIA ENTRE TERRA, LUA E SOL

Seguindo nossas discussões, uma forma simples de demonstrar que o Sol não se situa na mesma órbita que a Lua, mas sim situa-se há uma distância muito maior que a distância Terra-Lua (distância Terra-Sol > distância Terra-Lua) é observar o *terminador* de uma esfera iluminada, ou seja, observar, em uma esfera iluminada, a linha que separa a parte da superfície iluminada da superfície não iluminada por uma fonte de luz.

De acordo com Silveira (2020),

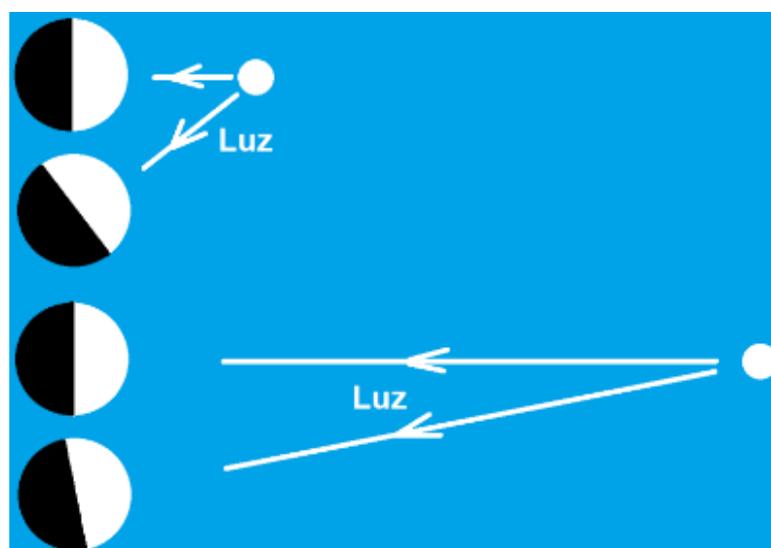
Se imaginarmos duas esferas iluminadas por uma fonte luminosa [...] é fácil se concluir que a orientação do terminador (linha que separa a parte iluminada da parte não iluminada da superfície de uma esfera) é muito diferente quando a distância

⁹ Para mais informações sobre a estimativa do erro no raio da Terra medido por Eratóstenes, acesse: <https://doceru.com/doc/5nxsx01>.

entre as esferas é semelhante à distância da fonte luminosa a cada esfera. Quando a distância da fonte às esferas iluminadas cresce, a orientação dos dois *terminadores* se tornam cada vez mais próximas [...]. (SILVEIRA,2020).

Podemos observar o efeito exposto por esse autor na Figura 20, na qual temos a representação de dois pares de esferas iluminados por uma fonte de luz posicionada próxima (esquema superior) das esferas e mais distante delas (esquema inferior), com a variação na orientação de seus respectivos terminadores.

Figura 20 - Representação de esferas iluminadas por uma fonte de luz posicionada próxima e distante, com a variação na orientação de seus respectivos terminadores



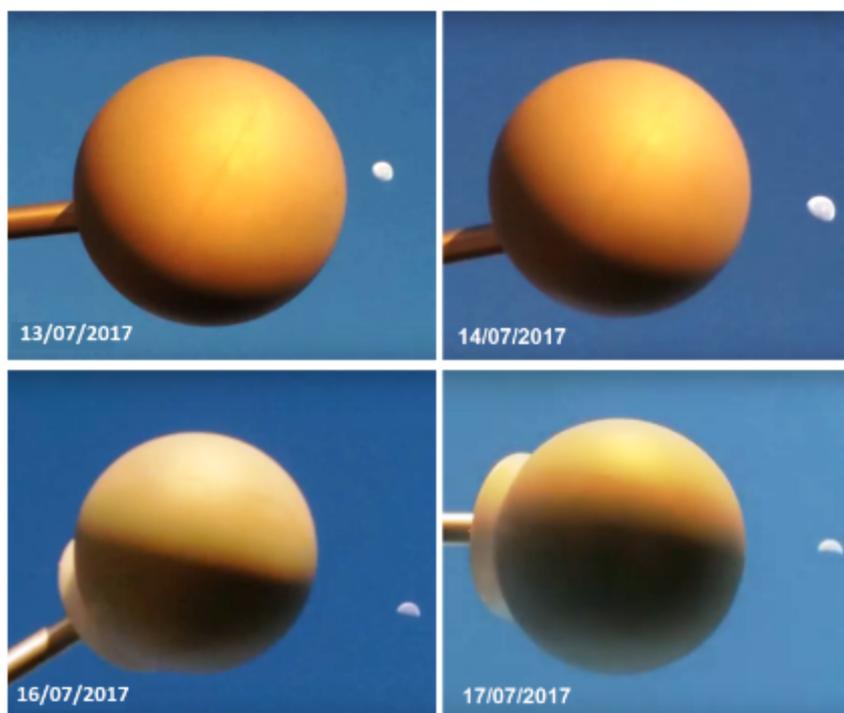
Fonte: Silveira (2020).

Desde a Grécia Antiga, sabe-se que a Lua é iluminada pelos raios solares, desta forma, as fases da Lua são decorrentes, basicamente, da posição da Lua em relação à Terra e da iluminação solar que recebe em um dado momento. Assim, por exemplo, ao longo de um mês diferentes partes da superfície do satélite são iluminadas. De acordo com Silveira (2020),

Nas ocasiões em que a Lua pode ser vista durante o dia no céu (por exemplo em dias próximos ao quarto minguante) é possível se usar uma bola posicionada em relação a nós semelhantemente a como vemos a Lua no céu, observando então os *terminadores* da Lua e da bola. (SILVEIRA, 2020).

Na Figura 21, temos o registro fotográfico feito por Silveira (2020), referente aos dias 13, 14, 16 e 17 do mês de julho de 2017. Notamos uma bola e a Lua iluminadas pela luz solar e, portanto, apresentando superfícies iluminadas e superfícies com sombra. Em ambas pode-se observar que seus terminadores possuem a mesma orientação.

Figura 21 - Registro fotográfico da Lua e de uma bola iluminados pelo Sol, evidenciando que o terminador das duas esferas têm a mesma orientação



Fonte: Silveira (2020).

Pela imagem, vemos que os terminadores da Lua e da bola são semelhantes, ou seja, tem a mesma posição e cobrem proporcionalmente a mesma área. Como tanto a bola quanto a Lua estão sendo iluminadas pelo Sol, isso nos sugere que esta estrela está muito mais distante da Terra e da Lua, de forma que esta distância é maior do que a distância Terra-Lua (SILVEIRA, 2020).

Com isso, temos um argumento pautado em uma observação e comparação entre situações que demonstram que Sol e Lua não orbitam o mesmo plano e não estão à mesma distância da Terra. Aliás, por meio deste, observamos que o Sol se encontra muito mais distante da Terra do que a Lua e, portanto, tais fatos refutam as suposições trazidas anteriormente sobre a posição do Sol e da Lua na crença Terraplanista.

4. REFRAÇÃO DA LUZ NA ATMOSFERA

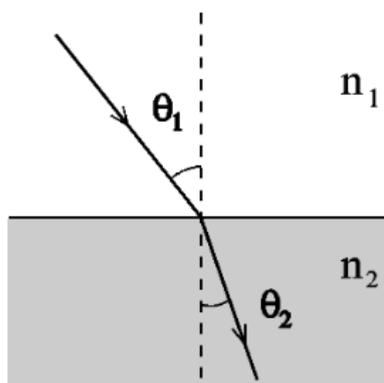
Na crença terraplanista, se o planeta Terra tiver superfície curva, então não seria possível visualizar objetos a longa distância, como faróis no mar, os quais conseguem avistar embarcações distantes. Outra questão levantada em algumas vertentes terraplanistas, é de que o Sol não ultrapassa a linha do horizonte, de forma que o efeito do pôr do Sol é aparente e ocorre devido à refração atmosférica, dando impressão de que ele vai desaparecendo quando perto do horizonte, até que não seja mais visto, mesmo ainda estando acima de tal.

Como já introduzido em seções anteriores, a crença terraplanista crê na rotação do Sol e da Lua paralela e acima da superfície da Terra, por isso, estes corpos celestes não ultrapassam a linha do horizonte de fato, mas sim, de forma aparente. Sobre a refração, a crença terraplanista também infere a existência da “refração atmosférica”, onde ocorre a “atmosfera invertida”, na qual, conforme a altitude de um local aumenta, a densidade do ar também aumentaria.

Iniciaremos nossa discussão conceituando a refração, que trata-se de um fenômeno óptico ocorrido quando a luz passa de um meio a outro, como por exemplo, ar e água, onde sua velocidade de propagação¹⁰ (distância percorrida pela onda, no caso, a luz, em um dado tempo) acaba alterando-se e, portanto, seu feixe sofre um desvio em relação à sua trajetória inicial. Observamos isso na Figura 22, na qual um feixe de luz vindo do meio com índice de refração n_1 , incide sobre uma superfície com um ângulo θ_1 em relação à reta normal (reta perpendicular aos meios, que faz um ângulo de 90° com os meios) da mesma, e adentra o meio com índice de refração n_2 sofrendo um desvio de sua trajetória inicial, portanto, apresentando ângulo θ_2 em relação à normal dos meios. Ressaltamos que o índice de refração trata-se de “uma grandeza física adimensional que mede a redução da velocidade da luz quando é transmitida através de algum meio óptico transparente. A capacidade de reduzir a velocidade da luz é chamada de refração.” (HELERBROCK, 2023a).

¹⁰ A velocidade de propagação é uma constante característica do meio onde a onda está se propagando.

Figura 22 - Representação da refração de um feixe partindo do meio com índice de refração n_1 , com um ângulo θ_1 em relação à reta normal e adentrando ao meio n_2 , com ângulo θ_2 em relação à normal



Fonte: Experimento... ([20--]).

Para o fenômeno da refração a Lei de Snell-Descartes é válida:

$$n_1 \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \operatorname{sen} \theta_2 \quad (14)$$

Ainda, na refração, observamos que se o feixe luminoso passa de um meio com índice de refração menor (meio *menos refringente*) para um meio com índice de refração maior (meio *mais refringente*), tal feixe tende a aproximar-se da reta normal, sendo este o caso ilustrado na Figura 22. Na ocorrência de tal fenômeno, haverá diminuição da velocidade da luz e de seu comprimento de onda, porém, a frequência da onda será mantida.

Fenômenos ópticos como a profundidade de piscinas parecer menor do que de fato é ou um lápis imerso em água parecer estar quebrado, como vemos na Figura 23, são explicados pela refração da luz (SILVA, 2023).

Figura 23 - A refração da luz faz com que um lápis imerso na água pareça estar quebrado

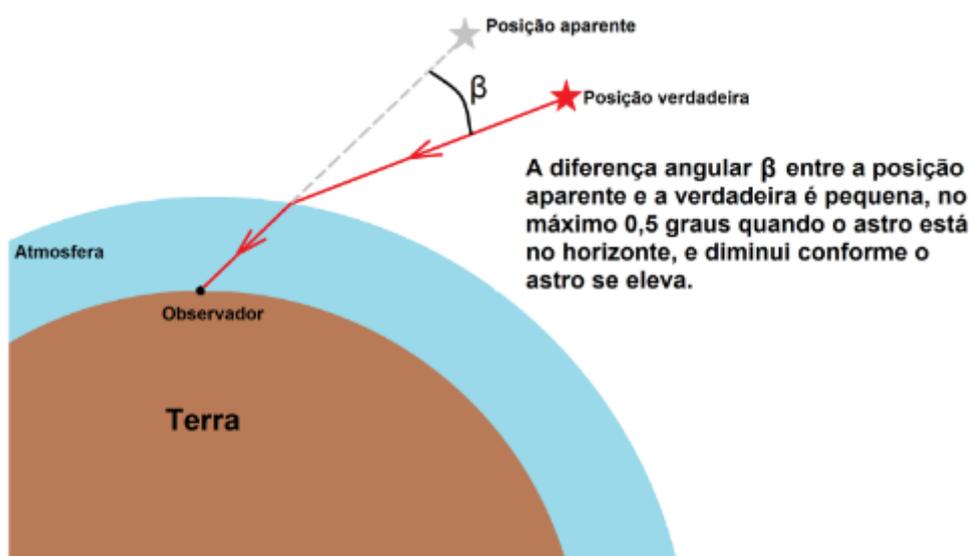


Fonte: Helerbrock (2023b).

A atmosfera não é um meio homogêneo, de forma que quanto mais nos afastamos da superfície da Terra, mais rarefeito o ar se torna, conseqüentemente, diminuindo a densidade de tal meio e seu índice de refração (SILVA, 2023).

Em uma observação celeste, vemos os astros em posições aparentes que são diferentes de sua posição real, como mostra a representação da Figura 24, que demonstra um esquema simplificado da posição verdadeira e da posição aparente de um astro, devido à mudança na direção de seu feixe de luz ao passar do espaço (meio com vácuo, *menos refringente*) para a atmosfera terrestre (meio com diversos gases, meio *mais refringente*), com destaque a diferença angular β entre a posição real e aparente do astro. Isso ocorre porque, justamente a luz emitida pelo astro, e vista por um observador na superfície da Terra, ao adentrar na atmosfera terrestre, passa por diversas camadas dela, as quais desviam a trajetória inicial do feixe, pois passam de camadas *menos refringentes* para camadas *mais refringentes*, e isso, como denotado anteriormente, causa um desvio no feixe de luz, aproximando-o da reta normal à superfície dos mesmos (SILVA, 2023).

Figura 24 - Esquema simplificado da posição verdadeira e da posição aparente de um astro

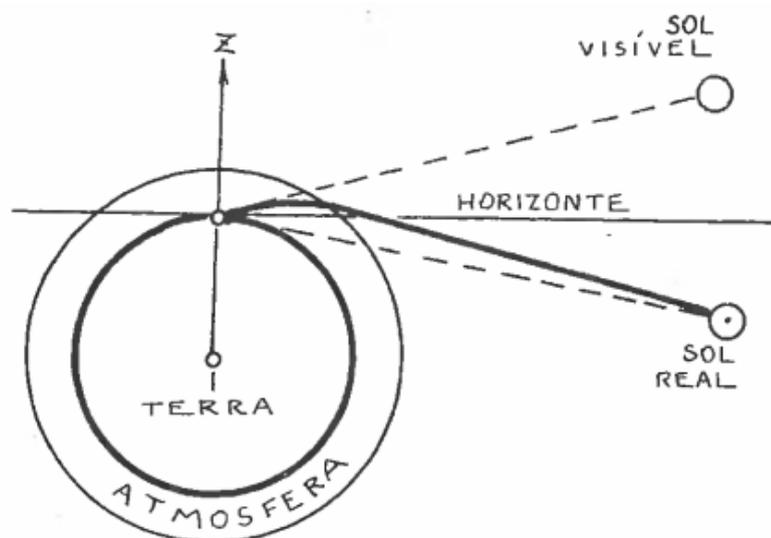


Fonte: Silveira (2010).

Tal desvio acaba mudando nossa percepção da posição dos astros, o que acontece no caso do nascer e pôr do Sol, em que, mesmo estando realmente abaixo do horizonte, ainda é possível visualizar nossa estrela, como destaca a Figura 25, que representa a posição aparente do Sol quando a sua posição real está em um dado ponto abaixo da linha do horizonte. A diferença nas posições ocorre devido à refração atmosférica. Se a atmosfera não fosse desta

forma (rarefação da atmosfera com o aumento da altitude, portanto, diminuição da densidade do meio), este efeito não seria visível.

Figura 25 - Representação da posição aparente do Sol quando a sua posição real está em um dado ponto abaixo da linha do horizonte



Fonte: Boczko (1984, p. 249).

Com isso, vemos que a crença terraplanista de que o Sol não se põe parte de uma interpretação errônea ou incompleta de fenômenos físicos como a refração, pois de fato antes de nascer e ao se pôr o Sol encontra-se abaixo da linha do horizonte, mesmo sendo possível visualizá-lo.

Ademais, uma situação notável que confirma que o aumento da altitude implica na rarefação do ar é a falta de ar sofrida por pessoas que visitam locais com altitudes elevadas, como é o caso de países andinos como a Bolívia, que possui altitude média de 1192 m acima do nível do mar (BOLÍVIA, 2023), e o Chile, que apresenta altitude média de 1871 m acima do nível do mar (CHILE, 2023). Jogadores de futebol de países que situam-se em baixas altitudes, como aquelas próximas do nível do mar (por exemplo, o Brasil, que está a ~300 m acima do nível do mar), relatam terem dificuldade para respirar e para correr em campo, o que demanda um esforço físico maior destes atletas. Tal situação ocorre pois há diminuição da quantidade de oxigênio absorvida pelos pulmões e o corpo humano necessita desse oxigênio para gerar energia às suas células. Esse exemplo prático da rarefação do ar com aumento da altitude do local confirma a hipótese de que os meios vão tornando-se menos refringentes à medida em que há uma ascensão de altitude na atmosfera, e, conseqüentemente, menos densos. Isso nos demonstra que a “atmosfera invertida” proposta, e vagamente explicada, por

terraplanistas, é inválida e refutada.

4.1 ALCANCE DE FARÓIS MARÍTIMOS E VISUALIZAÇÃO DE OBJETOS DISTANTES

Sabe-se que por conta da curvatura de nosso planeta, os faróis marítimos próximos ao mar têm seu alcance de visualização limitado (Figura 26). Caso a Terra fosse plana, instrumentos ópticos de grande alcance poderiam identificar objetos a grandíssimas distâncias, mas, com a curvatura da superfície terrestre, há uma limitação ao alcance de tais faróis, tanto o alcance luminoso quanto o geográfico, sendo o luminoso ligeiramente maior.

Figura 26 - Farol marítimo situado em uma superfície acima do nível do mar, emitindo um feixe de luz



Fonte: Brasil... (2018).

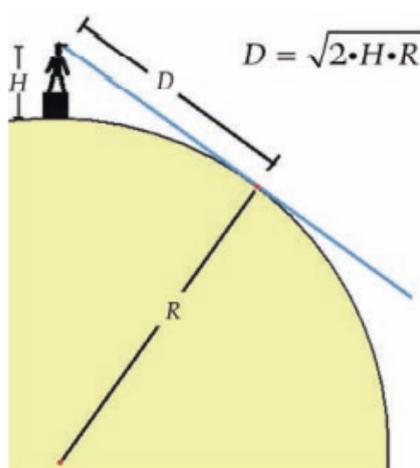
Como afirma Silveira (2017b), o alcance luminoso nos informa a distância que a luz emitida pelo farol alcança, sob determinadas condições atmosféricas, não levando em conta a curvatura do planeta e sendo válido para observadores que estejam sobre superfícies com relevos elevados o suficiente para o visualizar. Como argumenta o mesmo autor, “[...] o alcance luminoso é útil para se saber a que distância um observador em uma aeronave o perceberia.” (SILVEIRA, 2017b).

Já o alcance geográfico refere-se à “[...] maior distância na qual um sinal náutico qualquer pode ser avistado, levando-se em conta a altitude do foco da luz que exhibe, a altura do olho do observador em relação ao nível do mar, a curvatura da Terra e a refração

atmosférica.” (BRASIL, 2021, p. 26).

Em uma situação na qual o relevo da superfície terrestre não possui grandes variações, tendo em vista que a luz emitida pelo farol se propaga em linha reta até o horizonte e os efeitos da refração da luz possam ser desprezados, podemos mensurar a que distância o horizonte é percebido por um dado observador (SILVEIRA, 2017b). O esquema desta medida está expresso na Figura 27, cuja distância D ao horizonte depende da altura H do observador em relação ao solo e do raio R da Terra, que traz consigo a equação que relaciona tais termos.

Figura 27 - Representação da distância D ao horizonte e sua dependência com a altura da visada H do observador e o raio da Terra R



Fonte: Silveira (2017b).

Por meio da equação apresentada na Figura 27, percebe-se que, quanto maior a altitude H do observador, maior estará seu horizonte. Em uma situação em que a Terra fosse plana, essa variação do “[...] alcance do horizonte do observador [...]” não ocorreria, pois “[...] as observações ao nível do mar ou elevadas sobre ele permitiriam avistar objetos distantes da mesma forma.” (SILVEIRA, 2017b).

Para exemplificar, imaginando a situação na qual estamos em um farol com altura $H=4$ m do solo e sabendo que o raio da Terra é de $R=6370$ km, ou seja, $6,37 \times 10^6$ m, chegamos à uma distância ao horizonte aproximada de $D=7139$ m, cerca de 7,139 km. Logicamente, à medida que a altura H aumenta, o alcance D de visualização do horizonte (alcance de visada ou linha de visada) irá aumentar, fenômeno que é explicado pela esfericidade da Terra.

Como explica Silveira (2022), “[...] o alcance do farol depende explicitamente da sua altitude e do observador, algo que não aconteceria em um mundo chato sem curvatura pois sobre um plano não há como encobrir o farol ou o observador distante.” (SILVEIRA, 2022).

Ainda, como comentado anteriormente, a refração atmosférica interfere nas observações e percepções de objetos a longa distância. De acordo com Silveira (2017a),

É importante destacar que a refração da luz, quando o ar se encontra aquecido em relação às águas de oceanos, mares, lagos e canais pode determinar que objetos normalmente invisíveis devido à curvatura da Terra sejam percebidos, levando à interpretação errônea de que a curvatura seja inexistente ou até que a superfície da Terra seja côncava ao invés de convexa. No caso de o ar ser mais frio do que as águas, objetos normalmente visíveis podem se tornar invisíveis, também induzindo a erro de que a curvatura da Terra seja mais acentuada do que realmente é. (SILVEIRA, 2017a, p. 8-9).

Sabe-se que a refração atmosférica pode aumentar ligeiramente o alcance geográfico de um farol, em cerca de ~10% da distância que se objetiva alcançar/visualizar. Conforme explica Silveira (2022), “[...] além dessa distância a luz do farol não atingirá o observador e portanto se a luz não chega, o farol não será observado mesmo com o auxílio de um poderoso instrumento óptico.” (SILVEIRA, 2022). Isso ocorre porque instrumentos ópticos, em geral, trabalham com a luz que chega até eles, não podendo visualizar objetos que não estejam minimamente sobre sua linha do horizonte, assim, objetos abaixo da linha do horizonte, abaixo da curvatura da Terra, não são observados.

5. ROTAÇÃO DA TERRA

Crenças terraplanistas propõem erroneamente que o planeta Terra não possui movimento de rotação ao redor de seu próprio eixo. Dentre as principais justificativas terraplanistas para essa crença, estão: a não percepção do movimento da Terra, mesmo o planeta rotacionando em alta velocidade (~ 1600 km/h ou ~ 470 m/s) no Equador, em torno de seu próprio eixo; a experiência de soltar um objeto em queda livre de uma dada altura (de uma torre imóvel, por exemplo) e observar que esse cai paralelamente ao ponto onde foi solto e não à oeste deste ponto (já que a Terra rotaciona em sentido anti-horário).

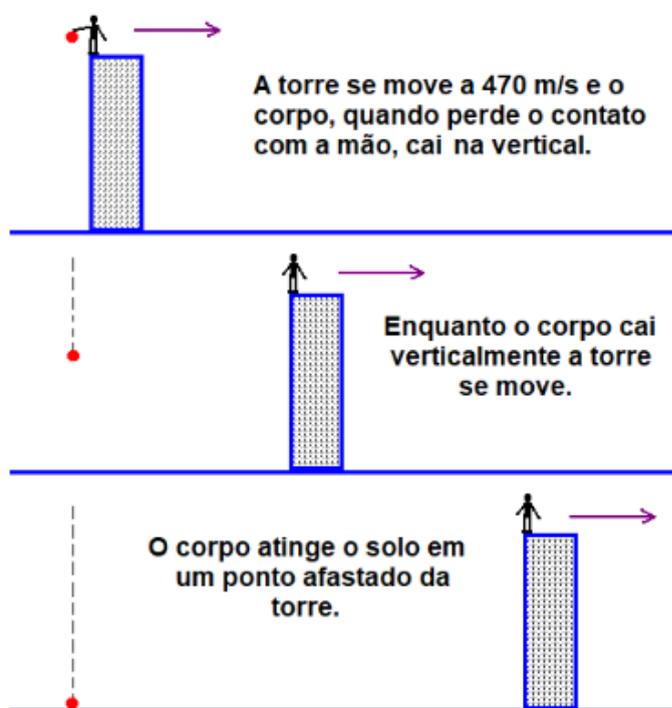
Outro ponto fortemente levantado por terraplanistas é a crença de que se a Terra rotaciona, o pêndulo de Foucault oscilaria para sempre, e que este pêndulo oscila devido às forças eletromagnéticas.

5.1 CORPOS EM QUEDA

Iniciaremos falando sobre a experiência de um objeto em queda livre de cima de uma torre imóvel. Silveira (2017c) afirma que tal ideia remonta de uma concepção geocentrista, chamada de Argumento da Torre, a qual assume que “Se um corpo é abandonado no topo de uma torre e supondo-se que a Terra gire conforme afirmou Copérnico, ele deveria atingir o solo a oeste da torre; como a experiência nos ensina que tal não acontece, a Terra está imóvel.” (SILVEIRA, 2017c).

Tal argumento terraplanista está ilustrado na Figura 28, em que a velocidade de 470 m/s corresponde ao valor aproximado da velocidade de rotação do planeta Terra.

Figura 28 - Representação do Argumento da Torre defendido por terraplanistas contra o movimento da Terra

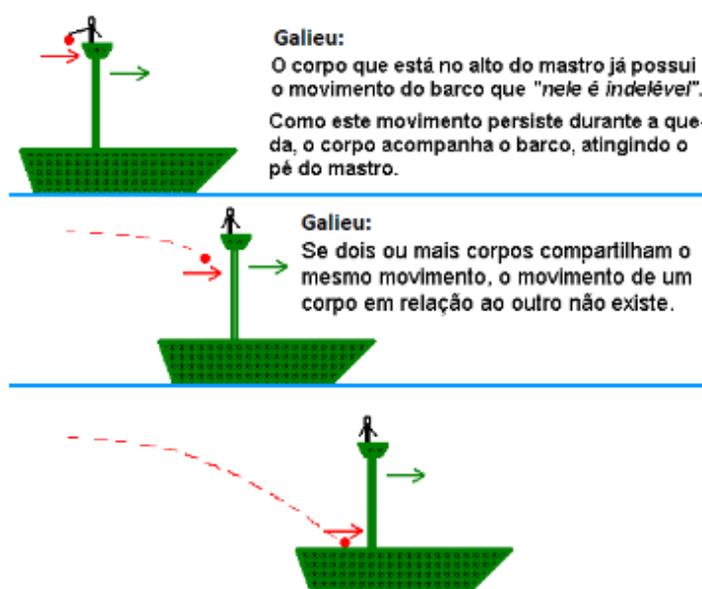


Fonte: Silveira (2017c).

Pelos conhecimentos da cinemática já é possível visualizar que o argumento terraplanista ilustrado na Figura 28 possui equívocos, visto que quando um corpo está em movimento, como a torre, e um objeto é lançado do mesmo, neste caso, um corpo lançado/caindo verticalmente, tal corpo está movimentando-se junto com a torre, ou seja, a velocidade apresentada pela torre também está aplicada ao corpo, o que faria com que o corpo caísse aos pés da torre, pois mesmo movimentando-se verticalmente, ainda possui velocidade horizontal no mesmo sentido do deslocamento da torre.

De acordo com Silveira (2017c), a resposta ao Argumento da Torre foi dada há muito tempo por Galileu Galilei, através do chamado Argumento do Barco: “Se um corpo é deixado cair do topo do mastro de um barco em movimento, dado que o corpo ao cair mantém a mesma velocidade do barco, ele atinge o pé do mastro.” (SILVEIRA, 2017c). A Figura 29 ilustra tal argumento galileano.

Figura 29 - Representação do Argumento do Barco, resposta dada por Galileu Galilei ao Argumento da Torre, ideia terraplanista contra o movimento da Terra



Fonte: Silveira (2017c).

Analogamente, um objeto solto em queda livre de cima de uma torre sofrerá tanto o deslocamento vertical de queda, quanto o deslocamento horizontal proveniente da rotação da Terra, e que ocorre concomitantemente para o objeto em queda e para a torre (SILVEIRA, 2017c). É isto que observamos na Figura 30, que representa uma torre situada na Terra da qual um objeto é solto e cai verticalmente. Tanto a Terra quanto a torre e o objeto movem-se do oeste para o leste e têm a mesma velocidade horizontal, condizente com a velocidade de rotação da Terra.

Figura 30 - Representação de uma torre situada na Terra da qual um objeto é solto e cai verticalmente

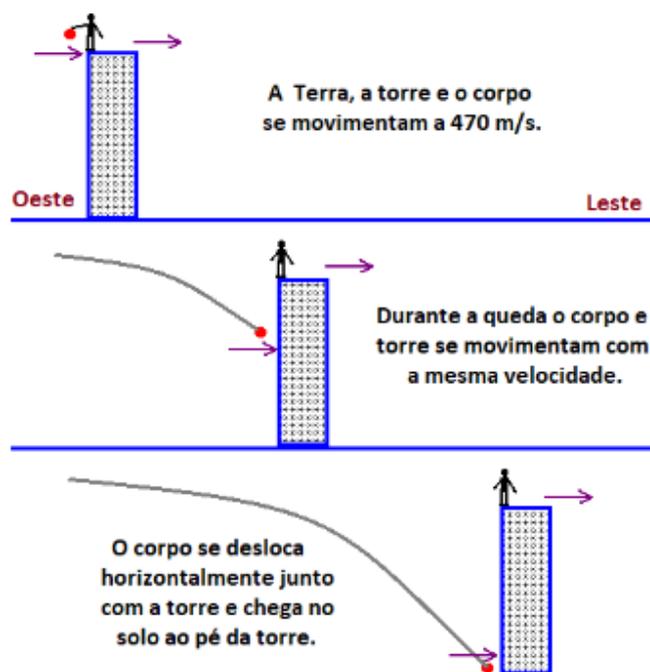


Figura 3 - O corpo em queda continua com a velocidade de 470 m/s na horizontal, atingindo o pé da torre.

Fonte: Silveira (2017c).

Ademais, ressaltamos que o movimento terrestre ao qual a discussão do Argumento da Torre trata é a rotação da Terra, onde nosso planeta gira em torno de seu eixo próprio. Assim, no Equador do planeta, os objetos usados nas explicações do Argumento da Torre estão movendo-se para o leste, com velocidade de ~ 470 m/s, assim como os exemplos contemplados nas figuras acima.

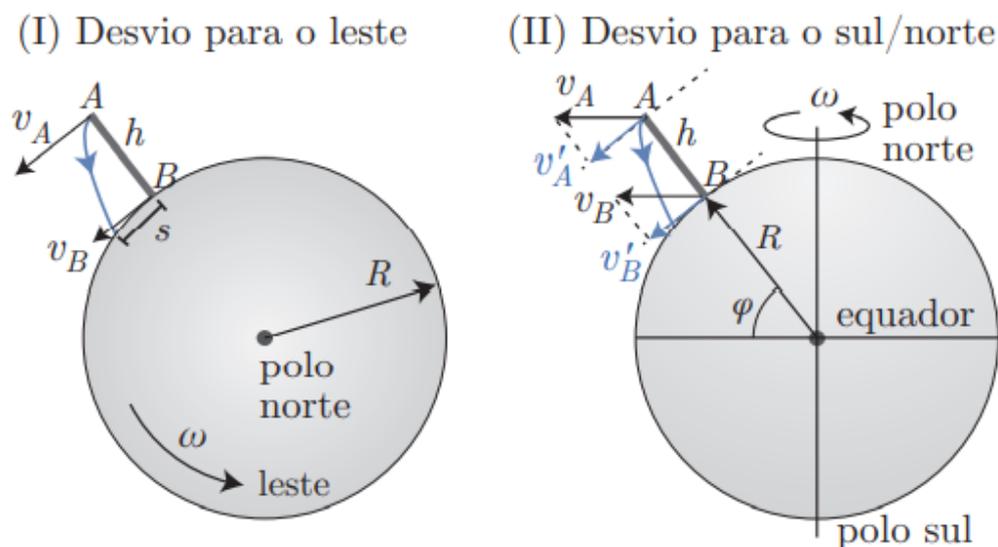
Cabe ainda ressaltar que, como aponta Silveira (2017c), “[...] o argumento galileiano NÃO prova que a Terra está em movimento, mas apenas demonstra que se ela estiver em movimento (e tal vale para outros movimentos da Terra como a sua translação ao redor do Sol), ainda assim o corpo atinge o pé da torre [...]” (SILVEIRA, 2017c).

Além do mais, uma constatação clara de que, se um corpo perde contato com a superfície da Terra, ele continua sob ação do movimento da rotação dela, é o fato de que, estando em um carro em movimento, se jogarmos um objeto para cima, o mesmo não será arremessado para trás, mas sim, voltará a cair verticalmente. Nas palavras de Silveira (2014), “Esta singela constatação refuta a concepção de que a simples perda de contato seja suficiente para a anulação do movimento que um corpo possui por se mover junto com a Terra.” (SILVEIRA, 2014).

Para sabermos em que posição aproximada o corpo cai ao pé da torre, e para evidenciar a existência do movimento de rotação, lançaremos mão da Mecânica Newtoniana. Analisando o caso do Argumento da Torre, o objeto ao ser abandonado, em queda livre, do topo da torre, sofre um desvio para o leste e para o sul (caso a torre esteja no hemisfério norte da Terra) ou um desvio para o norte (estando a torre no hemisfério sul). De acordo com Lima Neto (2021), tal desvio, comumente chamado de Desvio para o Leste, “[...] ocorre porque há uma diferença entre a velocidade horizontal no topo da torre e no solo.” (LIMA NETO, 2021, p. 54). Essa diferença ocorre devido ao fato de que, se aproximando do centro da Terra (imaginando o mesmo como um ponto), a velocidade de rotação diminui, portanto, tratando do Argumento da Torre, aos pés da torre (ponto B) admitimos uma velocidade tal qual a de rotação (~ 470 m/s) e no topo da torre (ponto A) admitimos uma velocidade maior do que esta (>470 m/s).

Vejamos a Figura 31 para compreender como esse desvio ocorre e como as velocidades estão distribuídas. Na Parte I da Figura, o objeto lançado de uma torre de altura h não cai verticalmente, mas sobre um desvio para o Leste (trajetória azul). Na Parte II, no Hemisfério Norte, o corpo também sofre um desvio para o Sul (e vice-versa no Hemisfério Sul). A velocidade angular da Terra no equador é $\omega = 2\pi/P$, P é o período de rotação.

Figura 31 - Representação de desvio para o Leste (I) e desvio para o Sul/norte (II)



Fonte: Lima Neto (2021, p. 55).

Tratando da Parte I da Figura 31, podemos escrever as velocidades presentes na

situação representada, onde temos um objeto que é solto do ponto mais alto da torre (ponto A) e atinge o solo (superfície onde encontra-se o ponto B) há uma distância s do ponto B, a base da torre. Como mostra a figura, em A temos a velocidade v_A e no ponto B temos a velocidade v_B . Como citado anteriormente, $v_A > v_B$. Ainda, sobre esta situação temos a velocidade angular ω da Terra no sentido leste (no Equador), o raio R da Terra sendo a distância entre o centro do planeta e o ponto B (assumindo a forma esferoidal para o planeta), φ sendo a latitude na qual o objeto é solto e h a altura da torre (medida do ponto A até B, sendo $h \ll R$).

Conforme a parte I da Figura 31, escrevemos a expressão para as velocidades v_A e v_B de um objeto que cai em queda livre de uma torre e sofre um desvio para o leste. Assim:

$$v_A = \omega (h + R) \cos \varphi \quad (15)$$

$$v_B = \omega R \cos \varphi \quad (16)$$

Sabemos que $\omega = \frac{2\pi}{P}$, portanto, substituímos esta variável nas equações 15 e 16:

$$v_A = \frac{2\pi}{P} (h + R) \cos \varphi \quad (17)$$

$$v_B = \frac{2\pi}{P} R \cos \varphi \quad (18)$$

Lembrando que o período P equivale ao período de rotação da Terra, que é ~ 24 h, ou seja, ~ 86400 s.

De acordo com Lima Neto (2021), tratando-se de um referencial em que a torre está estacionária, a velocidade inicial horizontal, do oeste para o leste, será $v_A - v_B > 0$. Esta diferença implica em o objeto em queda livre atingir o solo a uma distância s do ponto B, assim:

$$\Delta v = \frac{s}{t} \quad (19)$$

$$s = \Delta v t \quad (20)$$

$$s = (v_A - v_B) t \quad (21)$$

Visto que, desprezando a resistência do ar, o tempo t de queda livre é $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, sendo g a aceleração da gravidade, substituímos esta expressão na equação 21, bem como inserimos nela as expressões 17 e 18:

$$s = \left[\left(\frac{2\pi}{P} (h + R) \cos \varphi \right) - \left(\frac{2\pi}{P} R \cos \varphi \right) \right] \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (22)$$

Simplificando a equação 22 chegamos à equação 23, que nos apresenta o *desvio vertical* (s) sofrido pelo objeto em queda livre:

$$s = \frac{\pi}{P} \sqrt{\frac{2h^3}{g}} \cos \varphi \quad (23)$$

Como expõe Lima Neto (2021),

Se, por exemplo, o corpo for solto de uma altura $h = 300$ metros (um prédio de 100 andares), o desvio será de aproximadamente $17,1 \cos \varphi$ centímetros. No trópico de Capricórnio ou Câncer, $\varphi \approx \pm 23,439$, portanto $s = 15,7$ cm. Este efeito é máximo no equador e se torna nulo nos polos. (LIMA NETO, 2021, p. 55).

Analisando a Parte II da Figura 31, a qual refere-se à queda livre de um objeto de cima de uma torre, agora situada no Hemisfério Norte, tem-se que o corpo sofre um desvio para o Sul. As velocidades v'_A e v'_B envolvidas nesta situação são:

$$v'_A = (R + h) \cos \varphi \omega \sin \varphi \quad (24)$$

$$v'_B = R \cos \varphi \omega \sin \varphi \quad (25)$$

Dado que $\omega = \frac{2\pi}{P}$, reescrevemos (24) e (25):

$$v'_A = (R + h) \cos \varphi \frac{2\pi}{P} \sin \varphi \quad (26)$$

$$v'_B = R \cos \varphi \frac{2\pi}{P} \operatorname{sen} \varphi \quad (27)$$

O deslocamento sofrido pelo corpo é agora dado pela diferença entre v'_A e v'_B , assim, temos:

$$s = (v'_A - v'_B) t \quad (28)$$

Bem como na análise da Parte I da figura 31, o tempo t de queda livre é $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, portanto, também substituímos esta variável em (28):

$$s = \left[\left((R + h) \cos \varphi \frac{2\pi}{P} \operatorname{sen} \varphi \right) - \left(R \cos \varphi \frac{2\pi}{P} \operatorname{sen} \varphi \right) \right] \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (29)$$

$$s = \sqrt{\frac{2h}{g}} \frac{2\pi h}{P} \cos \varphi \operatorname{sen} \varphi \quad (30)$$

Aplicamos a identidade trigonométrica $\operatorname{sen} 2\varphi = 2 \cos \varphi \operatorname{sen} \varphi$ na equação (30) e simplificando a expressão, teremos:

$$s = \frac{\pi}{P} \sqrt{\frac{2h^3}{g}} \operatorname{sen} 2\varphi \quad (31)$$

Segundo Lima Neto (2021), o valor de s mensurado a partir da equação (31) trata-se da metade do valor obtido com a equação (23) que se refere ao *desvio vertical*. Além disso, de acordo com o autor, o valor de s do desvio vertical obtido pela equação (31):

[...] é máximo quando $\varphi = \pm 45^\circ$ e mínimo nos polos e no equador. Por exemplo, no trópico de Capricórnio, para um corpo largado a 300 metros de altura, o desvio será para o Norte de cerca de 2,2 cm. As expressões acima são aproximadas (qualitativamente corretas), um tratamento mais rigoroso envolve o uso de forças não inerciais em um referencial acelerado, como a força centrífuga e a força de Coriolis¹¹. (LIMA NETO, 2021, p. 55).

Para concluir, nas palavras de Boczko (1984), “[...] devido à rotação da Terra o corpo

¹¹ A força de Coriolis será discutida adiante, na página 62.

em queda livre não cai na vertical mas sim num ponto deslocado à leste da vertical que passa pelo ponto de origem da queda livre.” (BOCZKO, 1984, p. 263).

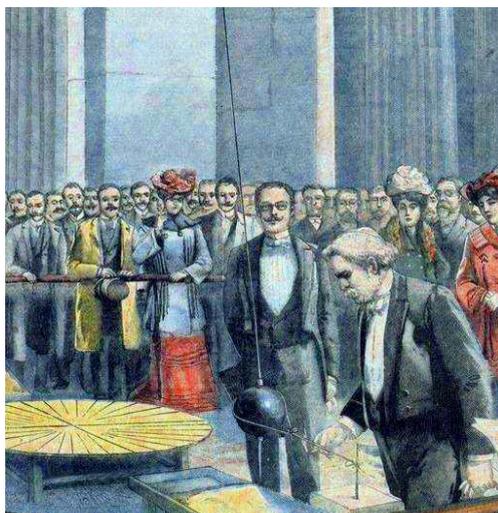
5.2 PÊNDULO DE FOUCAULT

Outra prova do movimento de rotação da Terra, e que é questionada por terraplanistas, é o pêndulo de Foucault, proposto em 1851 pelo físico francês Jean Bernard Léon Foucault, em que:

[...] um pêndulo de 30 kg foi fixado ao teto do Panteão de Paris por um fio rígido de 67 metros de comprimento. A massa de 30 kg era constituída de uma esfera metálica parcialmente oca, cheia de areia fina, com um orifício, pelo qual durante o movimento a areia ia se escorrendo lentamente, a fim de marcar no chão a trajetória do pêndulo; o rastro deixado pela areia não se sobrepunha um ao outro, mas sim existia um espaçamento entre um e outro a cada período do pêndulo completado. (PÊNDULO..., 2022).

O pêndulo de Foucault, como todo pêndulo, trata-se de um longo fio com comprimento l , que possui uma das extremidades fixa e a outra extremidade livre, com uma massa m acoplada à tal, como ilustra a Figura 32, por meio da qual visualizamos o experimento do pêndulo apresentado ao público por seu desenvolvedor, o físico francês Jean Bernard Léon Foucault, em 1851, no Panteão de Paris. Por ter uma massa consideravelmente grande, este pêndulo sofria pouco com a resistência do ar e por ter um fio bastante longo, seu período também seria maior, podendo oscilar por grandes períodos.

Figura 32 - Representação do experimento do pêndulo de Foucault



Fonte: adaptada de Pêndulo... (2022).

A princípio, imaginou-se que o pêndulo oscilaria de forma retilínea sobre um plano vertical único. Porém, o plano pendular do pêndulo de Foucault não era fixo, permitindo que ele oscilasse livremente em qualquer direção. Observamos então que o plano deste pêndulo rotacionava à medida que o tempo passava. Este comportamento levantou questionamentos acerca do movimento do pêndulo de Foucault e sua provável causa, visto que:

Quando o pêndulo é colocado em movimento, pelas Leis de Newton, sua oscilação depende somente da força gravitacional, da tração do fio e da resistência do ar, que faz diminuir a amplitude das oscilações com o passar do tempo. Nenhuma outra força age para explicar a mudança de direção da oscilação do pêndulo. (AURELIANO; SANTIS; FAUSTINO, 2015, p. 2).

Já que não havia forças externas aplicadas ao pêndulo, as quais poderiam modificar sua direção de oscilação, observou-se que na realidade o pêndulo girava aparentemente. De fato, o que ocorria é que o plano da Terra estava rotacionando e não o pêndulo de Foucault, o qual tinha um plano de oscilação, em verdade, constante, e foi isto que o físico francês demonstrou publicamente na cúpula do Panteão de Paris, em 1851. Na ocasião, o pêndulo movimentou-se no sentido anti-horário, realizando uma volta completa (de 360°) após ~32 horas, ou seja, aplicando a regra de três, obtemos que a cada 1 hora o pêndulo rotacionava ~11,25°. Com isso,

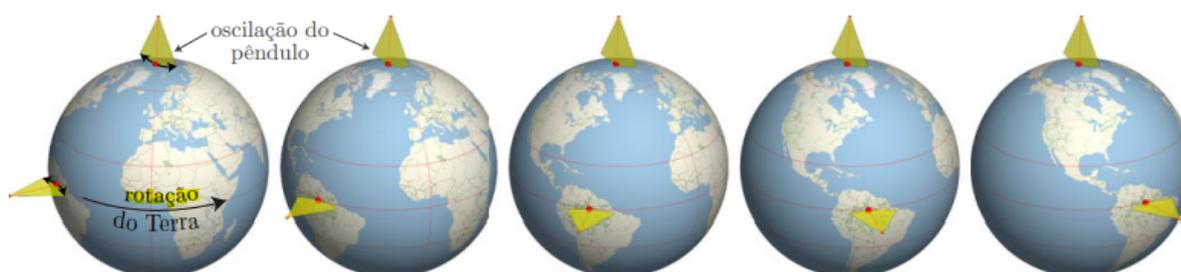
Foucault comprovou que o tempo gasto para completar uma volta dependia da latitude do local da experiência. Um pêndulo situado no Polo Norte daria uma volta completa em exatamente 24 horas no sentido horário; já para um pêndulo situado no Polo Sul, uma volta completa se daria também em 24 horas, mas no sentido anti-horário. Já para um pêndulo localizado na linha do Equador, o tempo gasto para completar uma volta seria infinito, ou seja, o pêndulo não giraria, mantendo sua trajetória retilínea. (AURELIANO; SANTIS; FAUSTINO, 2015, p. 3).

Tornou-se evidente que o plano do pêndulo rotaciona à medida que o tempo passava, sofrendo precessão, e que tal mudança coincide e é devida ao movimento de rotação da Terra. “A velocidade e a direção de rotação do plano pendular permitem igualmente determinar a latitude do local da experiência sem nenhuma observação astronômica exterior.” (PÊNDULO..., 2022). E é justamente por não necessitar de observações astronômicas que o experimento de Foucault é tão interessante e importante como evidência da rotação de nosso planeta.

Consideremos um pêndulo situado em um dos polos terrestres. “O princípio do pêndulo de Foucault nos polos é que o plano de oscilação de um pêndulo é invariante em um referencial inercial, na ausência de forças externas.” (LIMA NETO, 2021, p. 56). Contudo,

devido a rotação da Terra, um observador na superfície da mesma, encontra-se em um referencial não-inercial, portanto, aos olhos deste observador o plano de oscilação deste pêndulo se move, “dando uma volta por dia sideral [...] no sentido oposto da rotação da Terra [...]” (LIMA NETO, 2021, p. 56), mas sendo esta rotação do pêndulo aparente. A Figura 33 evidencia o pêndulo de Foucault no polo Norte e no Equador. O plano de oscilação do pêndulo (representado pelos triângulos amarelos no polo Norte e no equador) não se move enquanto a Terra gira. Um observador na Terra observaria o pêndulo do polo Norte girar em sentido horário e o pêndulo no equador oscilando na mesma direção. A sequência de imagens ilustra a rotação da Terra.

Figura 33 - Pêndulo de Foucault no polo Norte e no Equador



Fonte: Lima Neto (2021, p. 56).

Como no Equador o pêndulo de Foucault gira junto com a Terra, mas seu plano de oscilação não se altera quando comparado a um observador no local, o efeito observado é diferente do que ocorreria nos polos. Assim como citado anteriormente, estando no Equador o pêndulo não apresentaria rotação, portanto mantendo sua trajetória retilínea. Nesta situação, terraplanistas inferem que o pêndulo de Foucault deveria oscilar para sempre, o que é uma afirmação ingênua, visto que “[...] como qualquer pêndulo, ele perde energia mecânica devido às forças resistivas. Para manter o pêndulo oscilando muito tempo, a energia mecânica perdida deve ser repostada de alguma forma.” (SILVEIRA, 2017d).

O que podemos afirmar, e pode ser interpretado de forma errônea por parte da comunidade terraplanista, é que o período de oscilação do plano do pêndulo tende ao infinito no Equador, pois nesta localização o plano pendular não rotaciona, ou seja, nunca completará um giro, bem como em localidades muito próximas ao Equador a rotação do plano pendular é muito pequena. Esta condição, porém, não admite que o pêndulo oscile perpetuamente, pelas razões acima indicadas.

Conforme pontua Lima Neto (2021), para latitudes situadas entre os polos e o

Equador, ou seja, para latitudes intermediárias,

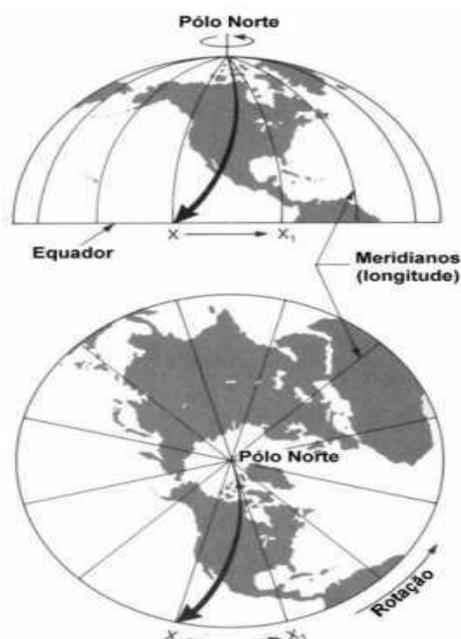
[...] não temos uma forma intuitiva para, por exemplo, dar o período de rotação do plano de oscilação do pêndulo de Foucault. Nestes casos, resolvemos as equações que descrevem o movimento do pêndulo em um referencial não inercial (a Terra girando) onde a força de Coriolis aparece. (LIMA NETO, 2021, p. 56).

Vimos que não existem forças externas aplicadas ao pêndulo de Foucault, como dito anteriormente, “[...] sua oscilação depende somente da força gravitacional, da tração do fio e da resistência do ar [...]” (AURELIANO; SANTIS; FAUSTINO, 2015, p. 2), sendo que tais forças estão contidas em seu plano de oscilação. Como o pêndulo está preso em um referencial não inercial (um ponto no alto de um edifício na Terra, como proposto por Foucault), que gira enquanto o pêndulo oscila, o desvio observado na trajetória de oscilação do pêndulo se deve à chamada Força de Coriolis¹².

A característica da Força de Coriolis é causar uma deflexão na trajetória de corpos que estão em movimento. Devido o sentido de rotação da Terra, corpos que estão movendo-se do Equador para o Polo Norte sofrerão uma deflexão de sua trajetória para a direita, e aqueles que se movem do Equador para o Polo Sul, serão defletidos para a esquerda. Na Figura 34, temos a ilustração do efeito da Força de Coriolis, para um observador na Terra, agindo sobre um objeto que se desloca do polo Norte ao ponto x , em que a rotação da Terra levou o ponto localizado em x à localização de x_1 . É o movimento de rotação da Terra que faz com que haja uma deflexão curva na trajetória do corpo que se desloca pela atmosfera terrestre. No exemplo, o corpo que sai do polo Norte sofre uma deflexão para a direita.

¹² Para saber mais sobre a Força de Coriolis, sugerimos a consulta ao seguinte site: <https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap7/cap7-3.html>.

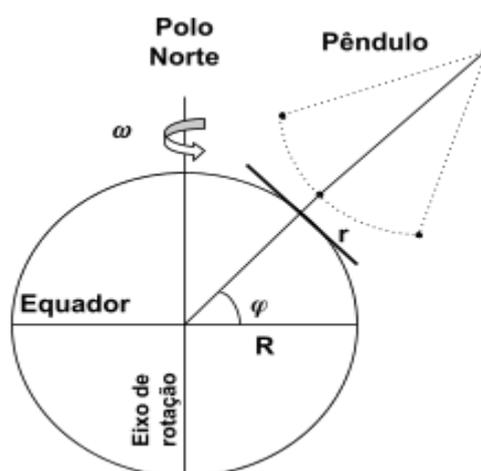
Figura 34 - Ilustração do efeito da Força de Coriolis



Fonte: Força... ([20--]).

Por fim, podemos mensurar o período P_{plano} do plano de oscilação do pêndulo de Foucault através de sua dependência com a latitude do local φ onde tal pêndulo está situado, com o raio r de oscilação do plano pendular e a velocidade de rotação da Terra ω , tal como vemos na Figura 35, que representa o pêndulo de Foucault situado sobre a superfície terrestre, no Hemisfério Norte, posicionado há um ângulo φ do Equador, sendo R o raio da Terra, r o raio de oscilação do plano pendular e ω a velocidade de rotação da Terra.

Figura 35 - Representação do pêndulo de Foucault situado sobre a superfície terrestre, no Hemisfério Norte, posicionado há um ângulo φ do Equador



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Conforme a Figura 35, escrevemos abaixo a expressão da velocidade do pêndulo:

$$v = r \omega \operatorname{sen} \varphi \quad (33)$$

Como destacado em equações anteriores, $\omega = \frac{2\pi}{P}$ e P trata-se do período de rotação da Terra (~24 horas ou 23,93447 horas), assim:

$$v = r \frac{2\pi}{P} \operatorname{sen} \varphi \quad (34)$$

De acordo com Lima Neto (2021), o período P_{plano} do plano de oscilação do pêndulo de Foucault é dado pela razão entre o comprimento da circunferência do plano pendular (igual a $2\pi r$) e a velocidade v do mesmo, mensurada anteriormente:

$$P_{plano} = \frac{2\pi r}{v} \quad (35)$$

Inserindo a expressão para v na equação do período P_{plano} :

$$P_{plano} = \frac{2\pi r}{\frac{2\pi r}{P} \operatorname{sen} \varphi} \quad (36)$$

Simplificando a expressão acima, temos:

$$P_{plano} = \frac{P}{\operatorname{sen} \varphi} \quad (37)$$

$$P_{plano} = \frac{23,93447 \text{ horas}}{\operatorname{sen} \varphi} \quad (38)$$

Visto que nos polos a latitude $\varphi = 90^\circ$, aplicando tal valor à equação (38) observamos que o valor de período P_{plano} encontrado será equivalente à uma rotação completa

no plano pendular, com cerca de 24 h, ou seja, nos polos teremos um período mínimo. À medida que a latitude φ afasta-se dos polos e aproxima-se do Equador, o período P_{plano} do plano de oscilação do pêndulo de Foucault vai aumentando, tendendo ao infinito. Estando exatamente sobre a linha do Equador, onde a latitude $\varphi = 0^\circ$, o valor do período P_{plano} é infinito, ou seja, levaria um tempo infinito para que o plano pendular completasse uma rotação de 360° estando situado no Equador, isso implica que nesta latitude não haja rotação do plano pendular. (AURELIANO; SANTIS; FAUSTINO, 2015).

Além de confirmar o movimento de rotação da Terra, a experiência do pêndulo de Foucault ainda serve como evidência da esfericidade do planeta, já que, caso a Terra fosse plana, não haveriam diferentes taxas de precessão que variam com as diferentes latitudes do planeta, situação que justamente observamos com o pêndulo de Foucault.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A concepção de uma Terra com forma plana é a mais natural para a experiência sensível humana, e consistiu na principal concepção cosmológica na Antiguidade, anterior ao século VII a.C., juntamente com o geocentrismo. Contudo, a observação de certos fenômenos, como a visualização de navios à distância a partir de um porto, e a percepção de que a configuração do céu muda em diferentes lugares do planeta, por exemplo, levou à impugnação desta concepção a partir do século VI a.C. por filósofos como Tales de Mileto, Pitágoras e Aristóteles, e astrônomos como Hiparco de Rodes, Eudoxo de Cnidos e Aristarco de Samos, dentre outros.

De acordo com Santos, Carvalho Filho e Teixeira (2021), mesmo sendo o astronauta Iuri Gagarin o primeiro humano a de fato ver a forma esférica da Terra, no ano de 1961, muito antes já se havia inferido esta condição ao formato de nosso planeta. Cerca de dois mil anos antes, Eratóstenes de Cirene, astrônomo e matemático grego, propôs que a Terra fosse esférica e aferiu sua circunferência. Para isso, utilizou conhecimentos básicos de geometria, matemática e a observação de sombras (SANTOS; CARVALHO FILHO; TEIXEIRA, 2021).

Por meio das evidências trazidas no experimento de Eratóstenes, junto ao advento da Astronomia moderna, e principalmente com a formulação da teoria da Gravitação Universal de Newton, a hipótese de uma Terra plana tornou-se insustentável, dada a vasta quantidade de evidências contrárias. Porém, indo pela contramão da ciência, a crença de que nosso planeta possui formato plano cresceu nos últimos anos, sendo disseminada principalmente na internet, por meio de vídeos, sites e comunidades terraplanistas e em páginas de divulgação científica que possuem fóruns abertos para discussões.

Através da pesquisa efetuada neste trabalho acerca das crenças terraplanistas nestes ambientes virtuais, observou-se que não existe um consenso sobre o modelo da Terra plana, mas sim, diversas hipóteses e modelos que buscam defender essa crença, mesmo que tais hipóteses e modelos já tenham sido refutados.

Esta multiplicidade de modelos terraplanistas já evidencia a fragilidade desta visão de mundo. Na ciência, frequentemente observamos a existência de propostas distintas na busca de resolver um mesmo problema, contudo, tais propostas possuem um núcleo comum (por exemplo, o emprego das leis da Física) e divergem em aspectos particulares (que também devem decorrer das leis da Física). O critério que favorece uma proposta e rejeita a outra, decorre da experiência (em laboratório, sob rigorosa metodologia científica) ou da observação instrumental da natureza, e, em nenhum aspecto, tais observações aplicam-se ao

terraplanismo.

De forma geral, percebemos que as hipóteses que fundamentam as crenças terraplanistas partem da não compreensão de fenômenos físicos e astronômicos, e de motivações quase que particulares, dado que seus discursos buscam propagar opiniões sobre observações diárias e pautadas no senso comum.

Sobre os temas tratados neste trabalho, as hipóteses terraplanistas acerca do movimento da Lua e do Sol demonstraram ser oriundas da crença enraizada de que a Terra possui formato plano e, com isso, as descrições do movimento e posição da Lua e do Sol deveriam adequar-se à máxima terraplanista, o que foi refutado nas discussões presentes neste trabalho.

Ainda, percebemos que questões ligadas à refração da luz encaixam-se na gama de conhecimentos científicos interpretados de forma errada ou incompleta pelas comunidades terraplanistas, como é o caso do desvio sofrido pela luz, devido a refração atmosférica.

Já, questões ligadas à rotação da Terra, por outro lado, parecem ocorrer devido à junção entre conhecimentos científicos mal compreendidos, mal interpretados e a crença absoluta de que a experiência sensível com conclusões simplistas é o que de fato reflete a verdade.

Mesmo analisando uma pequena parcela das hipóteses que supostamente provam que nosso planeta é plano, nota-se um padrão de justificativas pautadas no senso comum, na observação sensível e na falta de compreensão dos conhecimentos físicos, matemáticos e astronômicos que há muito tempo já provaram a esfericidade da Terra. Também salientamos que a abordagem usada ao longo do trabalho não é a única forma de evidenciar a esfericidade da Terra e refutar as crenças da Terra plana, mas trata-se de uma abordagem direcionada ao público em geral, feita em linguagem acessível.

Visto isso, a pesquisa aqui apresentada poderá servir como a parte inicial para trabalhos futuros sobre crenças terraplanistas, que contemplem de forma mais abrangente este tema e possam ser usadas para divulgação científica e para sanar as dúvidas e as curiosidades dos que interessarem-se pelo tema.

Dado o presente estudo, uma sugestão que é pouco vista nas explicações sobre o formato da Terra, e que pode representar um bom caminho para a ruptura da crença não fundamentada de uma Terra plana, é a admissão de que nosso planeta não tem a configuração de uma esfera perfeita. Ao discutirmos sobre as crenças terraplanistas, ou até mesmo quando nos depararmos com um adepto desta, uma ação interessante (e necessária) seria a de explicar qual o verdadeiro formato da Terra, o de geoide (o que permite uma abordagem que

contempla diversos conceitos da Mecânica Clássica), e porquê analisamos sua geometria através de formas aproximadas, como o elipsoide de revolução e a própria esfera, discussões abordadas neste trabalho.

Por fim, ressaltamos que a multiplicidade de modelos terraplanistas não possuem unidade alguma, e os argumentos empregados para além da mera experiência sensível baseiam-se tão-somente em distorções de conceitos científicos. Enquanto que na ciência se busca elaborar teorias que se adequem à realidade observada e a expliquem, os terraplanistas tentam "deformar" a realidade por meio de conceitos distorcidos para "encaixá-la" em sua visão de mundo. Trata-se, portanto, de uma inversão completa do processo científico: não se interroga a natureza para se entender como ela opera (forma como concebemos a ciência), mas se distorce o que dela se observa para se sustentar uma visão de mundo, o que podemos conceber como uma pseudociência.

REFERÊNCIAS

- A ESFERA celeste. **USP**, Centro de Divulgação de Astronomia, 16 de junho de 2000. Disponível em: <http://200.144.244.96/cda/aprendendo-basico/esfera-celeste/esfera-celeste.htm>. Acesso em: 12 fev. 2023.
- ARAGUAIA, M. A metodologia científica. **Brasil Escola**, 2023. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/a-metodologia-cientifica.htm>. Acesso em: 23 mar. 2023.
- AURELIANO, B.; SANTIS, G.; FAUSTINO, V. **O Pêndulo de Foucault**. Sorocaba: UNESP, 2015. Disponível em: <https://www.sorocaba.unesp.br/Home/Extensao/Engenhocas/resultados-pendulo-de-foucault.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2023.
- BARREIROS, V. **O que significam os termos latitude e longitude?**. Djexplo / Wikimedia Commons / Public Domain. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/o-que-significam-os-termos-latitude-e-longitude/>. Acesso em: 12 mar. 2023.
- BEZERRA, E. V. L. **Investigando a terra plana com o stellarium**. 2019. Monografia (Especialização em Inovação e Tecnologias na Educação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.
- BEZERRA, R. A Terra plana é aqui. **Revista X**, [s.l.], v. 15, n. 4, p. 21-29, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistax/article/view/76167>. Acesso em: 12 fev. 2023.
- BOLÍVIA. **Dados Mundiais**, 2023. Disponível em: <https://www.dadosmundiais.com/america/bolivia/index.php#:~:text=A%20Bol%C3%ADvia%20fica%20relativamente%20alta,acima%20do%20n%C3%ADvel%20do%20mar..> Acesso em: 15 mar. 2023.
- BOCZKO, R. **Conceitos de Astronomia**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1984.
- BRASIL vai acabar com taxa marítima por uso de farol. **Ports e Navios**, 25 de agosto de 2018. Disponível em: <https://www.portosenavios.com.br/noticias/navegacao-e-marinha/brasil-vai-acabar-com-taxa-maritima-por-uso-de-farol>. Acesso em: 12 fev. 2023.
- BRASIL. Imprensa Nacional. Seção VI – Alcance Geográfico. **Diário Oficial da União**, seção 1, n. 48, 12 de março de 2021. Brasília: IN, 2021. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/servlet/INPDFViewer?jornal=515&pagina=26&data=12/03/2021&captchafield=firstAccess>. Acesso em: 12 fev. 2023.
- CHILE. **Dados Mundiais**, 2023. Disponível em: <https://www.dadosmundiais.com/america/chile/index.php#:~:text=O%20Chile%20situa%2Ds%20e%20a,acima%20do%20n%C3%ADvel%20do%20mar..> Acesso em: 15 mar. 2023.
- CRENÇA. **Wikipédia**, 2023. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Cren%C3%A7a>.

Acesso em: 2 fev. 2023.

ELER, G.; VERSIGNASSI, A. A “ciência” da Terra plana. **Revista Abril**, 2023. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ciencia/a-ciencia-da-terra-plana/>. Acesso em: 28 mar. 2023.

EXPERIMENTO 9: ótica geométrica – leis da reflexão e refração. **UFRS**, [20--]. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/fis183/exp9/experimento9.htm>. Acesso em: 18 mar. 2023.

FORÇA de Coriolis. **UTFR**, [20--]. Disponível em: <https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap7/cap7-3.html>. Acesso em: 18 mar. 2023.

FORMA da Terra. 2014. Projeto Jovem Astrônomo. Disponível em: <http://jovemastronomo.wikidot.com/printer--friendly//forma-da-terra>. Acesso em: 26 abr. 2023.

GARCIA, R. **7% dos brasileiros afirmam que Terra é plana, mostra pesquisa**: crença é maior entre menos escolarizados e cristãos e cresce com redes sociais. Crença é maior entre menos escolarizados e cristãos e cresce com redes sociais. **Folha**, 7 de julho de 2019. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ciencia/2019/07/7-dos-brasileiros-afirmam-que-terra-e-plana-mostra-pesquisa.shtml>. Acesso em: 25 jul. 2022.

HELERBROCK, R. "Índice de refração"; **Brasil Escola**, 2023a. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/indice-de-refracao.htm>. Acesso em 2 fev. 2023.

HELERBROCK, R. Refração da luz. **Brasil Escola**, 2023b. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-refracao-luz.htm>. Acesso em: 2 fev. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas Escolar**. Rio de Janeiro: IBGE, [20--]. Disponível em: <https://atlascolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-cartografia/forma-da-terra.html#:~:text=Define%2Dse%20a%20forma%20da,n%C3%A3o%20corresponde%20a%20uma%20esfera>. Acesso em: 18 mar. 2023.

LIMA NETO, G. B. **Astronomia de posição**: notas de aula. São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, 2021. Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~gastao/astroposicao.html>. Acesso em: 18 mar. 2023.

LUIZ, A. A. *et al.* Eratóstenes, um gênio do tamanho da Terra. **Doceru**, 2010. Disponível em: <https://doceru.com/doc/5nxsx01>. Acesso em: 28 jul. 2022.

INTRODUCTION to the flat Earth, how it works, and why we believe it. **Word Press**, 16 de fevereiro de 2016. Disponível em: <https://flatearthscienceandbible.wordpress.com/2016/02/16/introduction-to-the-flat-earth-how-it-works-and-why-we-believe-it/>. Acesso em: 28 jul. 2022.

KILHIAN, K. O movimento de precessão da Terra e algumas implicações. **O Baricentro da Mente**, novembro de 2009. Disponível em: <https://www.obaricentrodamente.com/2009/11/o-movimento-de-precessao-da-terra.html>. Acesso em: 10 mar. 2023.

OLIVEIRA FILHO, K. de S.; SARAIVA, M. de F. O. A Esfera Celeste. **Departamento de Astronomia do Instituto de Física da UFRGS**, 2010. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/esf.htm>. Acesso em: 18 mar. 2023.

PÊNDULO de Foucault. **Wikipédia**, 16 de março de 2022. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%AAndulo_de_Foucault. Acesso em: 10 mar. 2023.

PEPPE, H. 15 Razones de una sociedad secreta que afirman que la Tierra es plana. **Buzz Feed**, 26 de maio de 2015. Disponível em: https://www.buzzfeed.com/mx/josehernandez/razones-por-las-que-la-tierra-podria-ser-plana?e_pik=dj0yJnU9SUFbQmVMQnpCUEsIcjRPNndnaUpiRVV2cnV6Z0NnaUYmcD0wJm49YU1rLUUp4ZE80ajhmR3J3RUJvDdpZyZ0PUFBQUFB1EyOVRz. Acesso em: 10 mar. 2023.

ROMEU, M. C. Introdução à Astronomia. Aula 03: Coordenadas, a Terra e a Lua. **UFC**, 2023. Disponível em: http://www.virtual.ufc.br/solar/aula_link/SOLAR_2/Curso_de_Graduacao_a_Distancia/LFIS/I_a_P/Introducao_a_Astronomia/aula_03/04.html#1. Acesso em: 10 mar. 2023.

SANTOS, I. P. dos; CARVALHO FILHO, J. D. V. C.; TEIXEIRA, R. R. P. Eratóstenes nos Dias de Hoje e a Crença na Terra Plana. **Abakós**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 95-112, nov. 2021. DOI:10.5752/p.2316-9451.2021v9n2p95-112.

SILVA, D. C. M. da. Refração atmosférica. **Mundo Educação**, 2023. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/refracao-atmosferica.htm>. Acesso em: 5 mar. 2023.

SILVA JÚNIOR, J. S. da. Qual é o formato da Terra? **Brasil Escola**, [20--]. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/curiosidades/qual-formato-terra.htm>. Acesso em: 19 mar. 2023.

SILVEIRA, F. L. da. Posição dos astros e a refração da luz na atmosfera. **CREF**, 12 de abril de 2010. Disponível em: <https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=posicao-dos-astros-e-a-refracao-da-luz-na-atmosfera>. Acesso em: 19 mar. 2023.

SILVEIRA, F. L. da. A rotação da Terra influencia o tempo de voo de uma aeronave? **CREF**, 2014. Disponível em: <https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=a-rotacao-da-terra-influencia-o-tempo-de-voo-de-um-a-aeronave>. Acesso em: 10 jan. 2023.

SILVEIRA, F. L. da. Sobre a forma da Terra. **Física na Escola**, [s.l.], v. 15, n. 2, p. 4-14, 2017a. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol15-Num2/a02-low.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2023.

SILVEIRA, F. L. da. Alcance dos faróis no mundo real e na mítica Terra Plana. **CREF**, 2017b. Disponível em: <https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=alcance-dos-farois-no-mundo-real-e-na-mitica-terra-plana>. Acesso em: 2 mar. 2023.

SILVEIRA, F. L. da. Objeto que cai da torre na Terra em movimento: a resposta pré-galileana,

de Galileu e da Mecânica Newtoniana. **CREF**, 2017c. Disponível em: <https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=objeto-que-cai-da-torre-na-terra-em-movimento-a-reposta-pre-galileana-de-galileu-e-da-mecanica-newtoniana>. Acesso em: 10 jan. 2023.

SILVEIRA, F. L. da. Sobre o pêndulo de Foucault: resposta a um terraplanista. **CREF**, 2017d. Disponível em: <https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=sobre-o-pendulo-de-foucault-resposta-a-um-terraplanista>. Acesso em: 16 mar. 2023.

SILVEIRA, F. L. da. Evidências de que o Sol está muito mais distante do que a Lua! **CREF**, 2020. Disponível em: <https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=evidencias-de-que-o-sol-esta-muito-mais-distante-do-que-a-lua>. Acesso em: 4 dez. 2022.

SILVEIRA, F. L. da. Dúvidas sobre a refração e curvatura da Terra. **CREF**, 2022. Disponível em: <https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=duvidas-sobre-a-refracao-e-curvatura-da-terra>. Acesso em: 3 mar. 2023.