

Terraplanistas vs. globalistas: Utilizando o Stellarium em favor do *status quo*



Evaldo Victor Lima Bezerra^{1, #} e
Sérgio Carrazedo Dantas²

¹Especialização em Inovação e Tecnologias na Educação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.

²Universidade Estadual do Paraná, Apucarana, PR, Brasil.

RESUMO

Este artigo apresenta uma discussão pedagógica interdisciplinar de astronomia, com uso de tecnologias computacionais, envolvendo o controverso modelo da Terra plana. Esta pesquisa visa também apresentar alguns argumentos que foram utilizados ao longo da história da ciência para provar a esfericidade da Terra e a reprodução de parte desses argumentos com auxílio do software Stellarium. A motivação decorre do crescente destaque que esse tema vem ganhando nas redes sociais e nos canais do YouTube, sendo necessário alertar nossos professores e alunos acerca da atividade troll de que alguns desses influenciadores digitais se utilizam para cooptar seguidores, fazendo-os acreditar em teorias globais de conspiração. Debatem-se evidências como o eclipse lunar, as constelações peculiares de cada hemisfério, os movimentos retrógrados dos planetas e as fases de Vênus. Em especial, destaca-se a reprodução em terras tupiniquins do experimento de Eratóstenes para medição da curvatura da Terra, com o auxílio do Google Earth e do Stellarium.

Palavras-chave: história da ciência; Terra plana; Stellarium; tecnologias na educação

1. Introdução

O questionamento acerca da forma da Terra tem sido ultimamente uma das discussões mais curiosas da internet. Pode ser encontrado em sites, blogs, grupos nas mídias sociais e principalmente em vídeos nos canais do Youtube. Até mesmo em documentários e programas de TV a discussão vem sendo apresentada.

Basicamente, temos dois grupos que surgiram dessa disputa de narrativas. Eles travam um embate sobre qual é o real formato de nossa casa (Fig. 1). De um lado, temos o movimento anti-científico terraplanista, que defende a planicidade de nosso planeta, e do outro lado os globalistas,¹ em favor de um planeta esférico e da ciência contemporânea. Ambos os grupos buscam provar com sofisticados argumentos e experimentos que sua visão de mundo é a mais correta e chegam a brigar entre si e a usar de vários subterfúgios para convencer o maior número de internautas de suas convicções.

O objetivo deste trabalho não é fazer uma comparação ou um confronto entre a ciência e o terraplanismo, pois eles não estão em pé de igualdade. O que queremos é reconhecer a existência desse fenômeno cultural, com o intuito de auxiliar nossos professores a lidar com seus argumentos. Estamos, de certo modo, levando a sério o que eles dizem e a partir disso fazendo um contraste com outros argumentos embasados no saber científico. Neste trabalho, vamos lembrar algumas das observações astronômicas utilizadas ao longo da história da ciência que corroboram o modelo acadêmico

Dois grupos disputam a narrativa do formato do nosso planeta: terraplanistas, que defendem a planicidade da Terra, e globalistas, em favor de um planeta esférico

ensinado nas escolas, bem como uma discussão sobre os experimentos de medição de curvatura apresentados pelos terraplanistas que trazem questionamentos sobre a Geodésia.²

Para tal objetivo, utilizaremos um programa de simulação planetária chamado Stellarium. Desde 2001, ele tem se tornado uma excelente opção pedagógica para o ensino da astronomia e, mais recentemente, da física. No site do projeto Stellarium³ ou em livros [1] é possível acessar o guia do utilizador, que traz vasta informação sobre o programa e instruções de instalação, utilização e programação. No caso deste artigo, foi utilizada a versão 0.19 para computador. Durante nossas abordagens sobre o uso da interface do programa, apresentamos as teclas de atalho entre colchetes [] para facilitar ao leitor uma possível reprodução do que apresentamos no texto.

2. Trolls à solta

Atualmente, podemos nos considerar os maiores beneficiários da chamada Revolução Digital. Vivemos na Era da Informação, que nos permite livre acesso a todo tipo de conteúdo na palma de nossa mão. Também somos capazes de nos comunicar com o mundo inteiro através de nossas redes e da internet. Contudo, toda essa tecnologia também potencializa alguns perigos, como é o caso das *fake news* ou do cyberbullying.

Como a internet é um ambiente anônimo, indivíduos propensos a conspirações têm maiores oportunidades de se conectar com outros indivíduos com inclinações semelhantes, e assim for-

[#]Autor de correspondência. E-mail: evaldo.bezerra@pm.pr.gov.br.



Figura 1 - Duas visões de mundo. Fonte: <https://publicworks.nl/2016/12/27/de-reali-teit-bestaat-niet/>.

marem comunidades que podem expressar desprezo e ódio por valores humanos, por exemplo. Existem outras criaturas que de igual modo são prejudiciais e perigosas: os *trolls* da internet. Segundo um estudo acadêmico de 2014, eles se assemelham a um conhecido vilão dos quadrinhos chamado *Joker* (Coringa), arquirrival do Batman, um criminoso psicopata com um senso de humor sádico e doentio.

[...] trolls operam como agentes do caos na internet, explorando assuntos controversos para fazer com que as pessoas despertem fortes emoções ou se pareçam tolas de alguma maneira. Se uma vítima cai na armadilha, a trollagem intensifica-se para uma diversão ampliada e sem piedade. É por isso que usuários novatos da internet são rotineiramente admoestados, “Não alimentem os trolls!” [2].

Um exemplo típico de atividade *troll* pode ser encontrado na chamada “teoria da Terra plana”, que vem concedendo popularidade aos *trolls* da internet nos últimos anos. Se o renascimento de uma teoria refutada como essa se deve apenas ao *trolling* da Internet, é difícil de confirmar. Afinal de contas, a Sociedade da Terra Plana existe desde 1956⁴ e não importam as evidências científicas e os vídeos do espaço; se você colocar um nível de pedreiro no chão, ele parecerá plano, e se você olhar ao redor da sua vizinhança, não

conseguirá enxergar nenhuma curvatura no planeta. Constantes investidas de trollagem acabam chegando aos ouvidos de pessoas leigas ou em fase de formação, como é o caso dos estudantes do Ensino Fundamental e Médio, que ainda não dispõem de discernimento para separar o que é científico do que é especulativo. Então, ao embarcarmos nessa discussão, em busca de provas para refutar esse sofisma terraplanista, será preciso nos utilizarmos de algumas áreas do conhecimento científico, tais como a astronomia, a matemática e a física.

Uma das características de se trabalhar com a astronomia é a necessidade de observar o céu e usar nossa percepção de mundo para se chegar a algumas conclusões. Contudo, a história da ciência já nos mostrou por diversas vezes como nossos sentidos nos enganam e nos fazem chegar a conclusões distantes da realidade. Como diria o filósofo Albernaz: “minha vida não passa de uma ilusão, ilusão essa que me cativa viver”.⁵

Nossa espécie já vivenciou, em muitos aspectos, a mudança de verdades estabelecidas por outras, que pareciam em primeiro momento absurdas. Um exemplo disso foi o geocentrismo e a crença de que a humanidade deveria ocupar um lugar especial e, por associação, a Terra deveria estar no centro do cosmos. À medida que aprendíamos mais acerca do universo descobrimos que, na realidade, nosso planeta é apenas mais um dentre muitos outros, localizado na periferia de um dos braços da

via láctea, entre bilhões de outras galáxias.

Se durante uma aula ou palestra perguntássemos a qualquer pessoa se a Terra está parada ou em movimento, a maioria irá afirmar que ela está em movimento. De igual modo, se perguntássemos se é a Terra que gira em torno do Sol ou o Sol em torno da Terra, novamente a maioria vai afirmar que é a Terra que se move em torno do Sol, e isso está correto. Fomos ensinados desde a infância a acreditar nessa mecânica celeste, contudo nossa percepção desses movimentos é totalmente oposta.

Ao observarmos o céu, percebemos que é o Sol e não a Terra que se move ao longo do dia do leste para o oeste. Da mesma maneira, sentimos que o chão sob nossos pés é firme e estático, então como pode estar se movendo? Numa busca por informações⁶ dos movimentos da Terra, encontramos a velocidade de rotação (de um ponto próximo ao equador) de aproximadamente 1675 km/h, o que equivale a 465 m/s. A velocidade de translação é ainda maior, de aproximadamente 30,2 km/s ou 109.000 km/h! Como compreender a ideia de um planeta dinâmico com esses valores? Esses são alguns dos argumentos de que os terraplanistas se utilizam para contestar o movimento da Terra, pois valem-se de nossa experiência na superfície terrestre como referencial para negar esses valores. Porém, numa discussão sobre referenciais, podemos esclarecer que os valores obtidos são em relação a um observador fora da Terra. Como nos movemos juntamente com nosso planeta, nossa percepção é de que estamos em repouso.

Ao continuarmos nosso debate, seria muito interessante perguntar aos nossos alunos: quais são as evidências que vocês têm para afirmar que a Terra está em movimento? Em geral, eles ficam confusos com o desafio, pois não conseguem explicar os movimentos de nosso planeta. Uma parte importante desse processo de discussão é mostrar aos alunos que tais dúvidas e questionamentos já foram feitos por nossos ancestrais há muito tempo. Seguem alguns exemplos.

Lactâncio: [...] se o mundo fosse uma esfera, teriam de existir pessoas e animais vivendo nos antípodas. Isso é absurdo, pois eles cairiam na parte de baixo do céu [3, p. 76].

Buridan: [...] se a Terra

girasse, uma flecha disparada para o alto em linha reta, cairia a oeste do arqueiro, pois a Terra teria se movido sob a flecha durante o voo [3, p. 177].

Oresme: [...] todos sustentam e eu mesmo penso que são os céus que se movem, não a Terra: pois Deus estabeleceu que o mundo não se moverá, apesar de razões contrárias, porque são claramente persuasões não conclusivas [3, p. 179].

Bellarmino: Mas querer afirmar que o Sol realmente fica em repouso no centro do mundo, que só gira sobre si mesmo sem ir de leste para oeste, e que a Terra está situada no terceiro céu e gira muito rápido em torno do Sol, é uma coisa muito perigosa, não só pode irritar os filósofos e teólogos escolásticos, como também pode ferir a fé e falsear as Sagradas Escrituras [3, p. 234].

Ao vasculhar em sites e comunidades terraplanistas, é relativamente fácil encontrar várias *memes* que representam essas declarações, indicando que eles não acreditam na gravidade. Todos esses argumentos foram escritos por pensadores importantes da sociedade antiga e medieval. De certo modo, eles estavam confrontando as evidências apresentadas com sua razão e percepção. O conceito moderno de gravidade ainda estava sendo construído.

3. A Terra plana

A “teoria” da Terra plana, que retornou recentemente, em alguns cantos da internet, não é realmente uma teoria, estritamente falando. Na realidade, os terraplanistas têm uma coleção de modelos, muitos dos quais podem se contradizer. Cada um é trabalhado de forma *ad hoc*⁷ para explicar por que uma ou duas observações específicas sugerem que a Terra redonda na realidade é plana. O modelo mais divulgado na *web* está fundamentado nas ideias do britânico Samuel Rowbotham⁸ (1816-1884). Em resumo, pode-se descrever o modelo da Terra plana da seguinte maneira: a Terra é um disco com o Polo Norte localizado no centro e o Polo Sul é na verdade uma cordilheira de gelo intransponível que percorre o perímetro do disco da Terra (Fig. 2). O

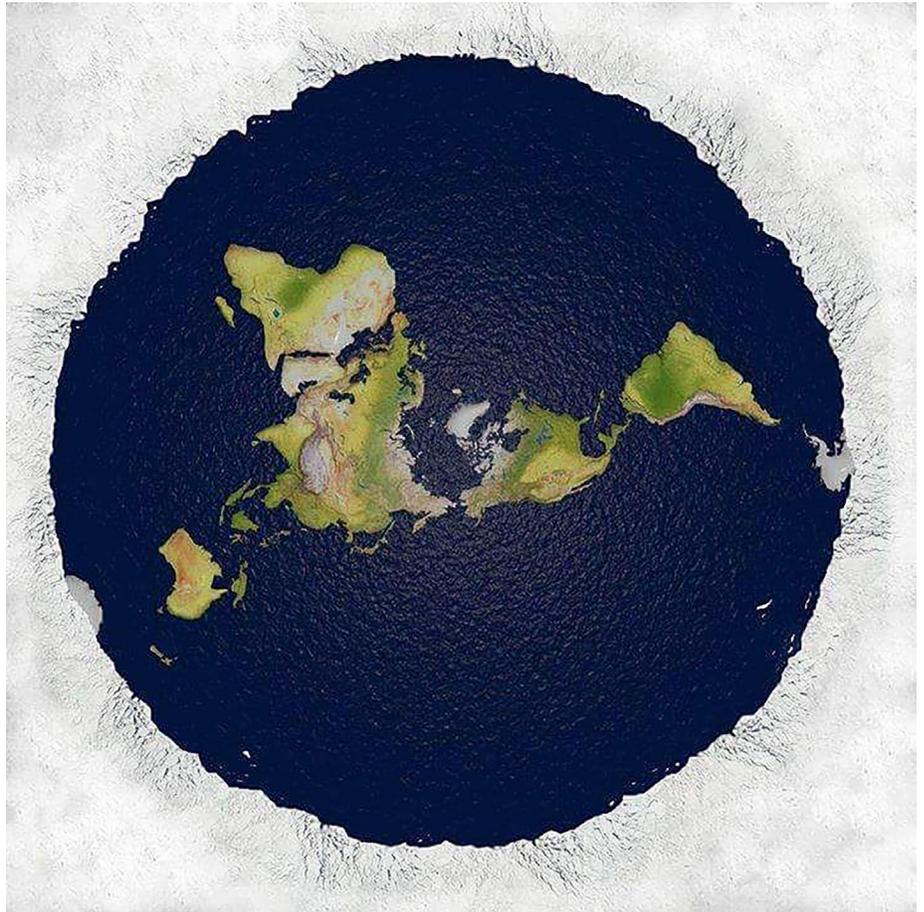


Figura 2 - Uma das representações da Terra plana. Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/857513585276917781/>.

Sol e a Lua giram a uma distância fixa acima da Terra e brilham como holofotes na superfície, criando a aparência do dia e da noite.

Para aqueles que reconhecem que a Terra é uma esfera, as evidências poderiam ser encontradas na observação dos eclipses e em vídeos e fotos do espaço. Contudo, constantes investidas de trollagem dos terraplanistas nos impedem a pensar mais a fundo sobre as evidências de uma Terra esférica. Em alguns casos, um modelo de Terra plana parece explicar adequadamente uma observação; em outros, os terraplanistas só podem responder com falácias.

Uma maneira de verificar a forma da Terra e se ela está ou não em movimento é observando-a de algum ponto fora do nosso planeta. Porém, essa sugestão é um tanto difícil de seguir. Segundo a história, foi somente em 12 de abril de 1961 que um homem conseguiu a proeza de sair da Terra pela primeira vez e com seus próprios olhos confirmar seu formato e sua dinâmica. Poderíamos então perguntar: como foi possível para a ciência concluir a forma

e o movimento da Terra muitos anos antes de Yuri Gagarin e tantos outros astronautas o confirmarem?

4. Investigando a forma da Terra

A ideia de um planeta esférico já era conhecida na época de Platão (428-348 a.C.). No século IV antes da era cristã, Aristóteles (384-322 a.C.) apresentou alguns argumentos bem claros sobre a forma da Terra, sendo que alguns deles vamos observar com o uso do Stellarium.

“Ele indica que, quando um navio se afasta do porto, uma pessoa que fica em terra vê, inicialmente, o navio todo, que parece cada vez menor; mas, depois de uma certa distância, a parte de baixo do navio começa a ficar oculta pelo mar, e por fim só se vê a parte mais alta dos mastros. Se o mar fosse plano, isso não poderia acontecer. Tal acontece exatamente porque o mar é curvo. Da mesma forma, para

se ver ao longe, no mar, é preciso estar em um ponto elevado. Nos navios, o melhor ponto de observação é no alto de um mastro. Em terra, o melhor ponto de observação é o alto de uma colina ou de um prédio alto. Se o mar fosse plano, a altura do observador não faria diferença nenhuma” [4, p. 74].

Como esses argumentos são muito antigos, é natural que eles possam ser questionados, pois os gregos não dispunham dos equipamentos ópticos de que dispomos hoje; eles se valiam da visão e da lógica. Ao observar um navio afastando-se do litoral, por exemplo, a parte inferior desaparece primeiro antes do mastro, sugerindo que esse fenômeno é fruto da curvatura terrestre. É nesse momento que os terraplanistas tentam nos enganar, mostrando vários vídeos em que embarcações que deveriam estar encobertas são recuperadas pelas câmeras.

De fato, é possível recuperar os navios com o uso de telescópios ou câmeras dentro de um limite que ultrapassa vários quilômetros. Mas então quando os efeitos da curvatura são suficientes para bloquear a imagem? A linha do horizonte é a chave para elucidar essa questão. Nos vídeos de teste de curvatura dessa natureza, todos os objetos que são recuperados pelas câmeras estão sempre antes da linha do horizonte. Se esses objetos estiverem além dessa linha, não podem mais ser recuperados na sua totalidade, não importa quão potente seja sua ampliação.

Em artigos anteriormente publicados em *A Física na Escola*, encontramos com mais detalhes essa discussão [5], inclusive com fotos e indicações de vídeos [6] que explicam esse e outros sofismas terraplanistas. Devido às dimensões da Terra, só é possível observar o horizonte encurvado se estivermos proporcionalmente distantes da superfície, a um pouco mais de 20 km de altura. As fotos da Terra tiradas durante a corrida espacial pelas missões Apollo (1961-1972), em que vemos nosso planeta redondo, foram tiradas a aproximadamente 200.000 km de distância da superfície.

Outra evidência apresentada por Aristóteles consiste na diferença que existe entre o céu observado no hemisfério norte e o céu observado no hemisfério sul. Pode-se verificar isso com o Stellarium. Primeiramente, vamos carregar o programa e logo em seguida localizar uma constelação típica do nosso céu meridional, o Cruzeiro do Sul, a partir do nosso local.

Tecla [F3] e digite Cruzeiro do Sul. Se estiver de dia, adiante o relógio para às 19h [F5]. Clique em exibir as linhas das constelações [C] para facilitar a visualização. Agora, vamos viajar para a Europa; tecla [F6] para mudar nossa localização para Paris, na França. Perceba que ao fazê-lo a constelação fica encoberta pelo chão. Não importa o dia nem o horário [F5], a constelação do Cruzeiro não pode ser vista por quem esteja na Europa.

Isso também ocorre com a constelação boreal da Ursa Menor. Ela não pode ser visualizada por quem esteja no Brasil. Qual a explicação para isso? Justamente a curvatura da Terra. Se nosso planeta fosse plano, poderíamos enxergar as mesmas partes do céu em qualquer ponto em que estivéssemos sobre a superfície terrestre. Os terraplanistas, dentre outras coisas, alegam que a impossibilidade dessa observação se deve à poluição atmosférica. A grande distância entre um observador sul-americano e a Estrela Polar, por exemplo, ficaria prejudicada pela espessa densidade atmosférica que separam esses dois pontos. Contudo, como explicar que em épocas passadas, quando a suposta poluição era insignificante, não tenham sido feitos registros dessas constelações pelos navegadores?

Se a atmosfera fosse a responsável por ocultar a Estrela Polar, como outras estrelas são percebidas próximas ao horizonte?

A terceira evidência é percebida no fenômeno conhecido como eclipse lunar, quando a sombra da Terra encobre nosso satélite natural, sendo possível observar indiretamente a curvatura de nosso planeta. Vamos observar um eclipse lunar ocorrido em janeiro de 2019 que, coincidentemente, ocorreu numa superlua.⁹ Ajustamos nossa data e horário [F5] para o dia 21/01/2019 a partir de 01h35min. Fazendo a observação em algum ponto de Curitiba, percebe-se que a sombra da Terra começa

a encobrir a Lua (Fig. 3). Localize a Lua [F3] e amplie sua visão [PgUp] até ela ficar bem focalizada, ocupando boa parte da tela. Às 2h42min ela fica totalmente eclipsada, encerrando-se o fenômeno às 4h50min.

Uma das primeiras tentativas de se medir com precisão a curvatura da Terra foi realizada por Eratóstenes de Cirene (273-194 a.C.). Ele errou por margem mínima...

A sombra terrestre parece ser uma evidência irrefutável de uma Terra esférica, mas essa observação não é convincente o suficiente para alguns terraplanistas, pois uma Terra plana também é capaz de produzir uma sombra circular. No entanto, para isso teríamos que fazer uma alteração no modelo, pois boa parte dos terraplanistas acredita que tanto a Lua quanto o Sol estão circulando acima da Terra plana e não ao redor dela. Alguns alegam ainda existir um domo intransponível, que impediria esse movimento. Para a geração de uma sombra circular, teríamos que admitir que a Lua e o Sol circulam ao redor da Terra plana, com o Sol perpendicular aos antípodas e a sombra circular da Terra encobrindo a Lua em oposição. Somente assim seria possível enxergar de uma Terra plana o eclipse lunar. Aprendemos com esse exemplo que uma observação comum pode tanto apoiar uma teoria como outra, mesmo sendo uma delas incorreta.

Dando continuidade a nossa investigação, vamos explorar uma das primeiras medições da curvatura da Terra. Ela foi realizada pelo matemático Eratóstenes de Cirene (273-194 a.C.). O método que ele utilizou foi descrito pela primeira vez no seu livro *Medidas do mundo*. Infelizmente, essa e outras

Dando continuidade a nossa investigação, vamos explorar uma das primeiras medições da curvatura da Terra. Ela foi realizada pelo matemático Eratóstenes de Cirene (273-194 a.C.). O método que ele utilizou foi descrito pela primeira vez no seu livro *Medidas do mundo*. Infelizmente, essa e outras

Devido às dimensões de nosso planeta, só é possível observar o horizonte encurvado se estivermos proporcionalmente distantes da superfície



Figura 3 - Eclipse lunar de 21 de janeiro de 2019. Fonte: Stellarium.

obras se perderam, e a descrição a seguir é uma reconstrução a partir de comentários de outros autores que conheciam o trabalho original [7]. O relato surpreende devido à simplicidade do método, baseado na geometria euclidiana.

No mundo antigo, as cidades de Alexandria e Siene (atual Assuã), no Egito, possuíam poços bem conhecidos para fornecer água para as cidades. Na maioria das vezes, o fundo dos poços é escuro, já que a luz do Sol entra em ângulo pela boca do poço. Em certa ocasião, Eratóstenes teve a oportunidade de ler, em um dos manuscritos da biblioteca de Alexandria, que no solstício de Verão, na cidade de Siene, ao meio dia, o Sol posicionava-se quase exatamente no Zênite, de modo que o fundo de um poço podia ser observado. Porém, em Alexandria, na mesma data (21 de junho) e horário, isso não acontecia, pois o Sol não ficava suficientemente perto do Zênite. Essa informação despertou sua curiosidade sobre o fato. Caso a Terra fosse plana, você não esperaria que o fundo do poço em Alexandria, a aproximadamente 800 km ao norte de Siene, fosse iluminado ao mesmo tempo? Sim, esse seria um resultado esperado; por que isso não acontece?

Toda a luz incidente do Sol é praticamente paralela, pois o Sol é muito maior que a Terra e muito distante em comparação com as distâncias entre os locais da Terra. Quando o Sol está diretamente acima de Siene, o ângulo de incidência é zero. A hipótese de Eratóstenes era que, devido à grande distância entre Siene e Alexandria, a luz do Sol teria um ângulo de incidência menor, devido à curvatura da Terra (Fig. 4). Era-

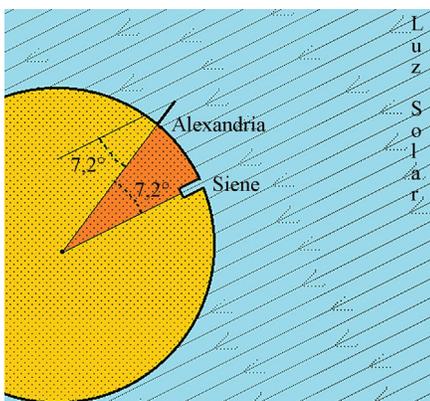


Figura 4 - Hipótese de Eratóstenes. Fonte: <https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=distancia-ao-sol-namitica-terra-plana-a-razao-de-as-diversas-estimativas-serem-conflitantes>.

tóstenes mediu esse ângulo em $7,2^\circ$ e percebeu que se ele soubesse a distância entre as cidades, poderia determinar o tamanho da Terra. A distância foi estimada em cinco mil estádios. Fazendo as devidas conversões e sabendo que o ângulo de $7,2^\circ$ equivale a $1/50$ de uma circunferência, calculou o perímetro da Terra em $800 \text{ km} \times 50 = 40.000 \text{ km}$, valor muito próximo ao aceito atualmente, de 40.075 km . Em outras palavras, para calcular a circunferência da Terra, Eratóstenes utilizou-se da seguinte relação trigonométrica:

$$\frac{S}{C} = \frac{\theta}{2\pi}$$

onde S é a distância entre as cidades e C a circunferência terrestre, ou seja, a razão entre a distância entre as cidades e a circunferência da Terra é igual à razão do ângulo formado pelas cidades e o ângulo total da circunferência terrestre. Conforme mencionado anteriormente, isso não parece apoiar nenhuma teoria da Terra plana: se a Terra fosse plana, com o Sol iluminando a 150 milhões de quilômetros de distância, você seria capaz de ver o fundo do poço em Alexandria e em Siene ao mesmo tempo, porque a luz incidiria diretamente para os dois poços.

Seria possível uma modificação no modelo da Terra plana para conseguirmos explicar essa observação? Sim, e essa é outra crença propagada por eles: o Sol é muito menor que a Terra e está a alguns milhares de quilômetros da superfície. Se o Sol fosse muito menor e mais próximo da Terra, iluminaria a superfície como uma fonte pontual. O ângulo de incidência na superfície dependerá da distância do Sol. Podemos calcular o quão perto esse Sol pontual teria que estar para resultar em um ângulo de incidência de $7,2^\circ$ em um poço a 800 km de distância. A partir da Fig. 5

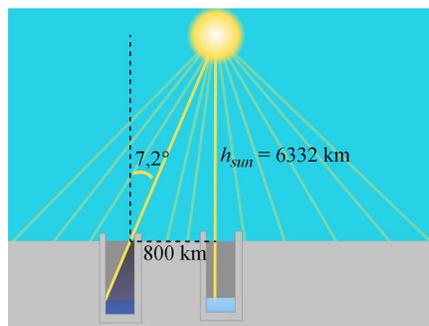


Figura 5 - Interpretação terraplanista do problema do poço. Fonte: <https://brilliant.org/practice/round-earth/?p=7>.

e com um pouco de trigonometria podemos notar que:

$$\tan(90^\circ - 7,2^\circ) = \frac{h_{\text{sol}}}{800 \text{ km}}$$

Então, a altura do Sol para produzir a situação observada nos poços deve ser de 6.332 km , o que contraria totalmente a visão aceita da posição da Terra e do Sol no sistema solar e suas dimensões, fazendo com que o Sol flutue mais perto que a maioria de nossos satélites de telecomunicação. Essa descrição remonta ao pensamento dos antigos de que o Sol era uma carruagem de fogo conduzida ao redor do céu pelo deus Helius. Contudo, sabemos hoje que a energia proveniente do Sol é devida a reações de fusão termonuclear que, se ocorressem na órbita baixa da Terra, destruiriam facilmente nosso planeta. Com apenas duas cidades e dois poços, nossas observações permitem bastante espaço de manobra para duas explicações muito diferentes.

A saída para esse problema foi apresentada pelo astrofísico Neil deGrasse Tyson em um dos seus vídeos do canal *StarTalk* do YouTube.¹⁰ É somente adicionando um terceiro poço em outra localidade que Eratóstenes seria capaz de excluir completamente a hipótese da Terra plana. Se observássemos um poço em Atenas, que fica 800 km mais ao norte de Alexandria, esperamos que o ângulo de incidência em uma Terra esférica duplique para $14,4^\circ$. Em uma Terra plana, os 1600 km entre Siene e Atenas produziram outro triângulo mostrado na Fig. 6, com a altura do sol fixada em 6332 km . A trigonometria pode revelar qual seria o ângulo de inci-

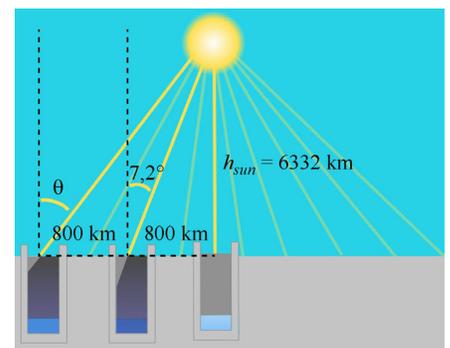


Figura 6 - A medição de ângulos em três poços equidistantes. Fonte: <https://brilliant.org/practice/round-earth/?p=8>.

dência previsto em Atenas:

$$\tan(90^\circ - \theta) = \frac{6332}{1600}.$$

Isso prevê um ângulo de incidência em Atenas de 14,18°. Contudo, a medição do ângulo em Atenas confirma o resultado esperado para uma Terra esférica, de 14,4°, refutando a hipótese terraplana.

5. Medindo a curvatura terrestre

Com o auxílio do Stellarium e do Google Earth é possível refazer o experimento de Eratóstenes aqui no Brasil, com pequenas modificações. Em vez de usarmos poços, usaremos estacas imaginárias em seis locais diferentes sobre um mesmo meridiano.

A cidade de Macapá, capital do estado do Amapá, foi escolhida como ponto de partida, por estar localizada sobre a linha do Equador. Nossa linha de teste (Fig. 7) vai sair em direção ao sul, passando pelas cidades de Ourilândia do Norte/PA, Aruanã/GO, Adamantina/SP, Inácio Martins/PR e Cachoeirinha/RS a 746, 1.650, 2.398, 2.829 e 3.314 km de Macapá, respectivamente, seguindo o meridiano W51.

No Stellarium, vamos selecionar o local [F6] usando as coordenadas para Macapá (latitude: S 0°0'0" e longitude: W 51°4'36"); em seguida, ative a grade azimutal [Z] para podermos medir o â-

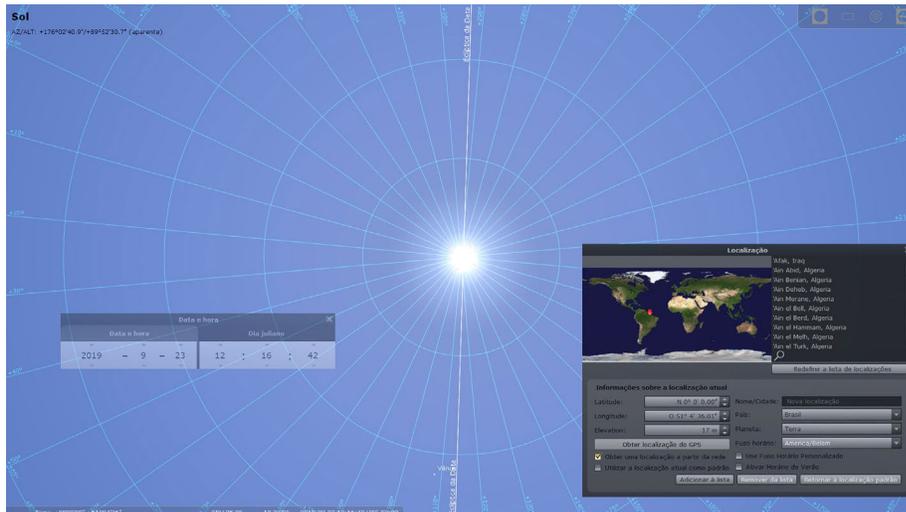


Figura 8 - O céu de Macapá com o Sol no Zênite. Fonte: Stellarium.

ngulo de elevação do Sol (0° no horizonte até 90° no Zênite). Na janela de visualização [F4], clique na aba Marcações e selecione Eclíptica (da data) para visualizar no céu a projeção da trajetória aparente do Sol. Agora, precisamos encontrar o dia e a hora em que a eclíptica passa exatamente sobre o Zênite. Para isso, congele o tempo [K] e em seguida selecione o Sol [F3], abra a janela de data e hora [F5] e vá alterando os meses e dias até conseguir esse cruzamento. No dia 23 de setembro de 2019 às 12h16min42s, conseguiremos esse me-

lhor cruzamento (Fig. 8).

Se olharmos as informações oferecidas no canto esquerdo da tela, veremos a localização exata do Sol na linha azimute/altitude (AZ/ALT). O ângulo de azimute é a medida em graus tomados no horizonte a partir do Norte; já a altitude é o ângulo vertical formado pelo objeto celeste e a superfície. Em Macapá, a altitude medida para o Sol foi de 89°52'30". Objetos na superfície nessas condições não vão apresentar sombra.

Agora vamos nos transportar para o segundo ponto, para medirmos a altitude do Sol no mesmo instante. Para isso, selecione o local [F6] com as coordenadas de Ourilândia do Norte (latitude: S 6°44'47", a longitude permanecerá a mesma). Agora, verifique as informações do Sol nessa cidade (Fig. 9).

Seguimos para a cidade de Aruanã (latitude: S 14°55'07") e anotamos as mesmas informações. Perceba que a posição do Sol no céu é diferente nesses lugares. Fazemos as mesmas medições e anotações para as demais cidades até chegarmos a Cachoeirinha. Com base nessas medições, podemos usar a mesma matemática utilizada por Eratóstenes e chegar a um resultado médio para



Figura 7 - Linha de teste para medição da curvatura terrestre. Fonte: Google Earth.

Tabela 1: Coordenadas geográficas e dados da linha de teste.

Local	Lat. (S)	Long. (W)	Altitude	θ (°)	S (km)	Sombra (m)	C (km)
Macapá	00°00'00"		89°52'30"	0,12	0	0	0
Ourilândia	06°44'47"		83°22'47"	6,62	746	0,11	40567
Aruanã	14°55'07"		75°12'35"	14,78	1650	0,26	40189
Adamantina	21°40'45"	51°04'36"	68°26'42"	21,55	2398	0,39	40059
Inácio Martins	25°34'27"		64°33'26"	25,44	2829	0,47	40033
Cachoeirinha	29°56'54"		60°13'04"	29,78	3314	0,57	40061

Fonte: Google Earth e Stellarium.

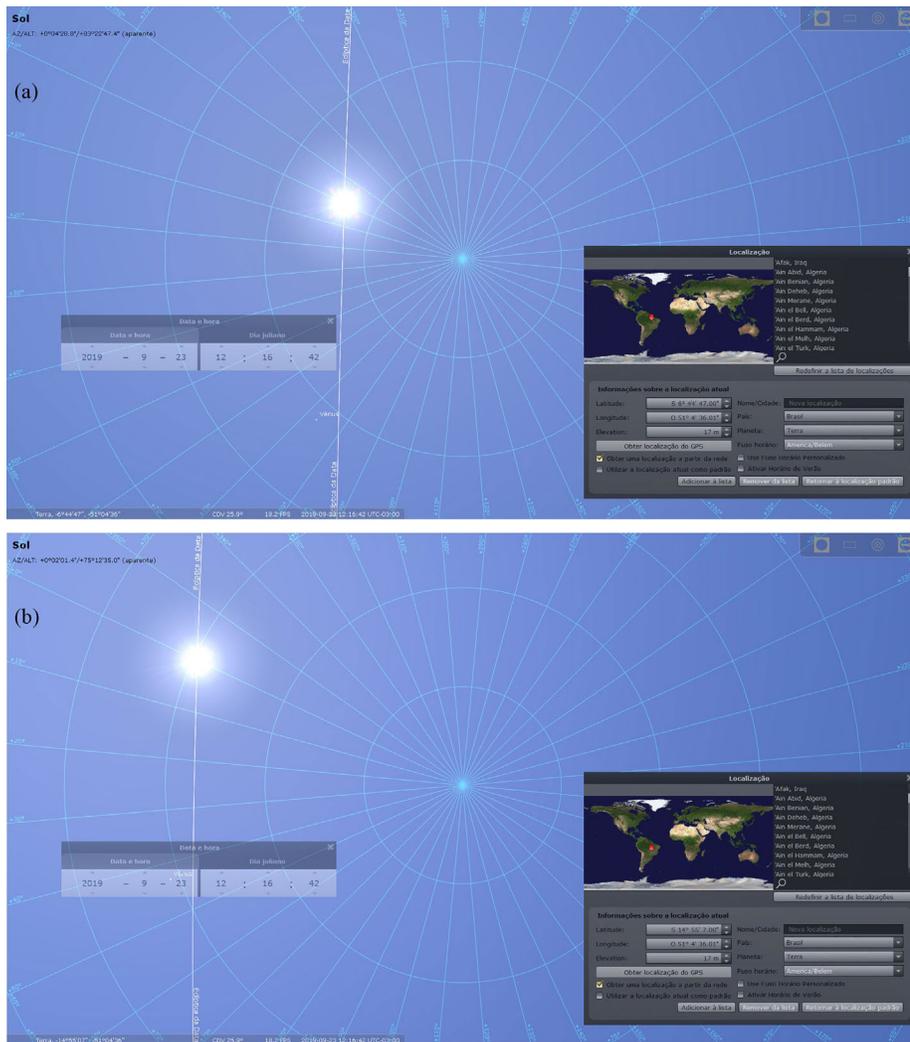


Figura 9 - O céu de Ourilândia do Norte (a) e Aruanã (b) em 23 de setembro de 2019. Fonte: Stellarium.

o valor da circunferência terrestre:

$$c = \frac{2\pi}{\theta} s,$$

onde S é a distância entre as cidades e θ representa o ângulo de incidência dos raios solares, sendo calculado pela diferença entre 90° e a altitude do Sol no local. Substituindo os dados, temos uma circunferência de 40.568 km. Já em relação a Aruanã, o valor calculado é de 40.189 km, próximo do valor aceito atualmente. Lembremos que a Terra é uma esfera oblata e não uma esfera perfeita, o que pode justificar divergências no comprimento.

A Tabela 1 apresenta resumidamente todos os dados obtidos com os programas e os cálculos dos ângulos, das sombras previstas para as estacas e a medição da circunferência, sempre em relação a Macapá. Essas sombras são calculadas pela $\tan\theta$, assumindo

que as estacas colocadas nas seis cidades tenham 1 m de altura.

Utilizando o processo de triangulação para verificar a possibilidade da Terra plana, mais uma vez se observa que duas medições permitem que ambos os modelos coexistam. Contudo, ao colocar um terceiro triângulo na jogada, o modelo da Terra plana falha novamente. Para nossa linha de teste, a altura do Sol é calculada pelo triângulo retângulo formado entre o Sol, Macapá e Ourilândia, sendo essa medida equivalente ao valor do cateto adjacente ao ângulo de $6,62^\circ$. Isso resulta numa distância de 6.427 km. Utilizando-se essa distância para o cateto adjacente do triângulo retângulo: Sol, Macapá e Aruanã, com o cateto oposto valendo 1650 km, o ângulo obtido é de $14,39^\circ$. Esse ângulo é menor do que o ângulo correto obtido com o Stellarium, de $14,78^\circ$. Analisando qualquer triangulação entre essas cidades, não se conse-

gue encontrar congruência entre os ângulos. Concluímos assim que o modelo terraplanista não descreve corretamente a realidade.

6. laços no céu

Além do questionamento sobre o formato terrestre, boa parte dos terraplanistas também acredita que a Terra se encontra no centro do universo, num estado de completo repouso. Para responder por que isso é outra ilusão, vamos analisar dois fenômenos que nos ajudaram a mudar essa visão de mundo: a retrogradação dos planetas e as fases de Vênus.

Ao observar o céu noturno durante algumas noites, é bem provável que tenhamos a impressão de que ele parece uma grande cúpula esférica em que as estrelas estão em repouso e suas posições na esfera celeste são fixas. Isso é ocasionado devido às enormes distâncias que existem entre nós e as estrelas. Contudo, ao estender a observação por algumas horas, percebe-se que essa cúpula estelar gira lentamente, fazendo com que todas as constelações caminhem no sentido de leste para oeste. Podemos observar isso com o Stellarium. Ajuste o horário de observação para a noite [F5] e acelere a passagem do tempo [L] para perceber esse giro. O movimento das estrelas é aparente e nossa observação é o efeito da rotação terrestre.

Acontece que nem todas as estrelas se comportam do mesmo modo. Uma observação cuidadosa revela que algumas estrelas não estão presas a essa cúpula, mas podem deslizar sobre ela, caminhando lentamente por entre as demais estrelas fixas. Na verdade, esses corpos celestes não são estrelas e sim os planetas do sistema solar. Em algum momento de sua caminhada, os planetas começam a andar no sentido contrário, fazendo um laço para depois continuar seguindo seu percurso original. Esse tipo de movimento é chamado de retrogradação e leva alguns meses até o loop se completar.

Esse fenômeno foi um dos grandes mistérios da astronomia antiga. Muitos foram os modelos cosmológicos propostos para tentar explicá-lo. No entanto, ele foi compreendido somente após a aceitação dos trabalhos de Copérnico (1473-1543) acerca do heliocentrismo e de Kepler (1571-1630) com suas três leis do movimento planetário. No sistema copernicano, o Sol ocupa o centro do sistema solar e os planetas giram em torno dele em órbitas elípticas, de acor-

do com a primeira lei de Kepler. A terceira lei de Kepler revela também que quanto maior for a distância média do planeta em relação ao Sol, menor será sua velocidade orbital média. Por exemplo, a Terra, por estar mais próxima do Sol, possui uma velocidade orbital média maior que a de Marte e, por consequência, menor que a de Vênus.

Podemos agora entender o movimento de laço que todos os planetas fazem no céu como sendo mais uma ilusão, um efeito dos movimentos relativos desses planetas em relação ao nosso. O movimento retrógrado de Marte, por exemplo, ocorreu entre os dias 25 de junho e 31 de agosto de 2018. Vamos observá-lo com o Stellarium. Primeiramente, ajustamos a data [F5] para 1º de maio de 2018. Vamos montar nosso telescópio [Ctrl+M] no sistema equatorial, para eliminar o efeito do movimento da esfera estelar. Em seguida, eliminemos: o chão [G], a atmosfera [A] e os pontos cardeais [Q] para uma visualização limpa do céu. Depois, vamos localizar o planeta Marte [F3]. Note que ele deverá estar à esquerda de Saturno nessa data. Utilizando os controles de tempo, avance de forma progressiva [L] x6 para perceber o movimento em laço de Marte, que irá ocorrer entre os meses de junho e agosto.

Existe um recurso no Stellarium que gera um rastro por onde passou o planeta, permitindo a visualização de sua trajetória. Para isso vá ao menu Janela de opções do céu e de visualização [F4], na segunda guia Objetos do sistema solar (SSO) e marque o quadradinho *Show planet trails*. A partir da seleção atual, será possível gerar a trajetória de

Marte avançando ou retrocedendo o tempo (Fig. 10).

Apesar de enxergarmos laços no céu, cada planeta na realidade segue sempre a sua órbita elíptica no mesmo sentido, sem nunca o inverter. O movimento retrógrado observado no céu é uma ilusão. Como visto anteriormente, a Terra é um ponto de observação móvel para os fenômenos celestes. Enquanto observamos o céu noturno, nosso planeta se move com velocidade de aproximadamente 109.000 km/h e os outros planetas também, mas com velocidades diferentes. Quando observamos um planeta no céu, ele é visto projetado contra o fundo estelar, parecendo estar junto de alguma constelação. Com o passar do tempo, a projeção do planeta muda, pois tanto ele como a Terra deslocam-se ao longo de suas órbitas (Fig. 11).

Se a Terra fosse fixa no espaço, como defendem os terraplanistas, veríamos o planeta caminhar por entre as constelações, seguindo sempre na mesma direção.¹¹ Entretanto, a Terra também se movimenta! A posição do planeta vista no céu é o resultado do movimento relativo entre a Terra e o planeta em questão, ou seja, o que observamos no céu é produto da sobreposição do movimento de ambos. Como os planetas envolvidos viajam a velocidades diferentes, a projeção do planeta no fundo estelar não segue um padrão regular. À medida que o planeta mais rápido ultrapassa o mais lento, a projeção passa a mover-se no sentido contrário, iniciando a trajetória em laço. Ao final da ultrapassagem, a projeção do planeta retoma seu trajeto original, se-

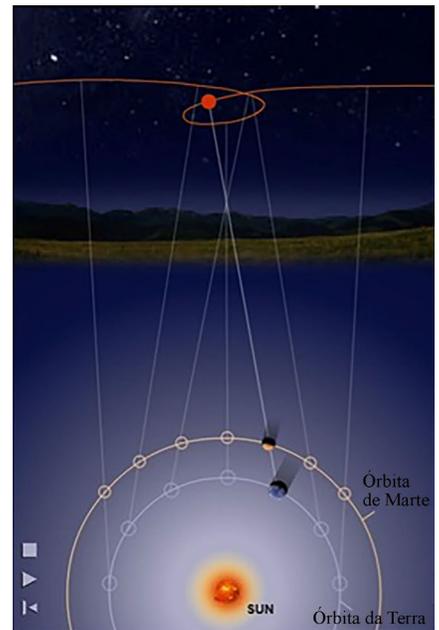


Figura 11 - Ilustração do movimento aparente em laço de Marte. Fonte: <https://mars.nasa.gov/all-about-mars/night-sky/retrograde/>.

guindo seu caminho por entre as estrelas. Os movimentos em laço podem ser observados para todos os planetas e é uma das comprovações da veracidade do heliocentrismo e da própria dinâmica do sistema solar.

7. As fases de Vênus

Quando observamos o planeta Vênus pelo telescópio, temos outra surpresa. Não enxergamos um disco, como ocorre com Marte, Júpiter ou Saturno, mas enxergamos uma figura parecida com a Lua. É interessante observar que esse planeta apresenta fases, assim como a Lua. Essa constatação foi descrita por Galileu Galilei (1564-1642) em 1623, em seu livro *Il Saggiatore*. Entretanto, em uma carta de 1610, Galileu fala desse fenômeno a Johannes Kepler da seguinte forma: *Cynthiae figuras aemulatur mater amorum* [8, p. 120], que traduzindo significa: “A mãe dos amores [Vênus] imita as figuras de Cinthia [a Lua]”. Essa constatação não se encaixava com o modelo geocêntrico, pois se Vênus girasse em torno da Terra, mais próximo do que o Sol, suas fases teriam de ser idênticas às da Lua. No entanto, Galileu verificou que quando Vênus estava na fase semelhante à lua nova, atingia sua dimensão máxima, o que significava que estava no ponto mais próximo da Terra possível, ao passo que quando avançava para a fase semelhante à lua cheia, ia diminuindo de

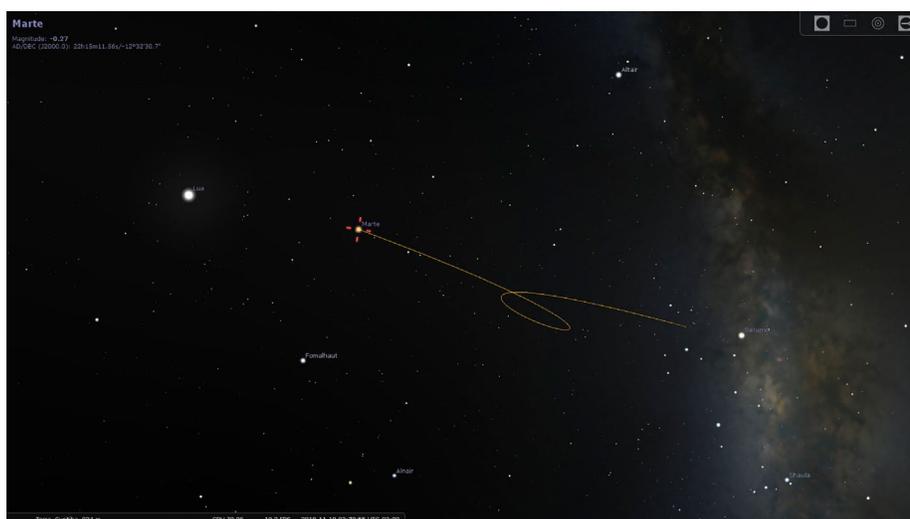


Figura 10 - Trajetória da retrogradação de Marte visto da Terra. Fonte: Stellarium.

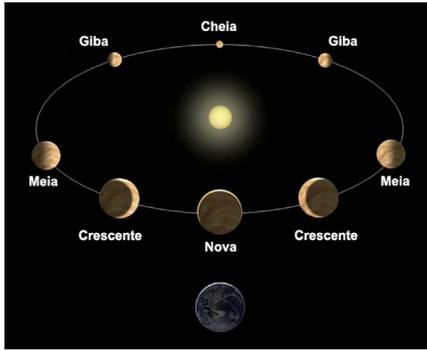


Figura 12 - Ilustração para as fases de Vênus. Fonte: <http://celeste.nuclio.org/as-fases-de-venus/>.

dimensão. Isso significava que Vênus tinha que de alguma forma estar girando em torno do Sol (Fig. 12). Vamos observar o fenômeno.

No Stellarium, pesquise por Vênus [F3]; em seguida, vamos desativar a atmosfera [A], o chão [G] e montar o telescópio no sistema equatorial [Ctrl+M]. Com o scroll do mouse, aproxime-se do planeta; se preferir, use o zoom automático [/]. Agora, vamos acelerar a passagem do tempo [L] para observar suas fases. Perceba que o tamanho do planeta realmente aumenta quando ele passa da fase minguante para a nova, e diminui quando passa da fase nova para a cheia. Mais uma vez, estamos diante de uma ilusão, pois as dimensões do planeta Vênus são estáveis. O que temos aqui é o efeito do movimento translacional do planeta em torno do Sol, que altera sua posição em relação a nós, estando ora mais próximo do observador, na fase nova, ora mais distante de nós, na fase cheia.

8. Considerações finais

O ambiente de debate feito sobre a Terra plana nos dias de hoje, guardadas as devidas proporções, assemelha-se muito aos debates ocorridos no final da Idade Média a respeito do sistema ptolomaico (geocêntrico) e o sistema copernicano (heliocêntrico), embora as condições sociais e políticas nesses dois períodos sejam totalmente diferentes. Naquela época, Galileu Galilei foi um dos defensores mais ousados do heliocentrismo. Escreveu vários livros a respeito desse tema, com evidências físicas e matemáticas, além das provas obtidas com o uso do telescópio. Apesar disso, teve que negar essas evidências para manter o *status quo*, uma vez que tanto a Igreja quanto os vários filósofos e teólogos da época defendiam o sistema geocêntrico. Era mais sensato manter a

Terra estática, com os objetos celestes orbitando em torno da Terra, porque essa é a percepção de nossos sentidos.

O que os terraplanistas fazem hoje é tentar impor seu discurso ideológico, fomentando o conflito entre o que vemos com nossos olhos e o que a ciência expõe como verdade. Essas discussões já deveriam ter sido encerradas há muito tempo, porém nossa espécie é muito curiosa e, às vezes, explicações científicas são realmente difíceis de serem compreendidas. Conforme mencionado no início deste artigo, ao observar a superfície da Terra você não vê nenhuma curvatura, a percepção continua sendo que estamos parados e que os céus e tudo ao redor é que se move. Demorou muito tempo para a comunidade científica aceitar as ideias de Galileu.

A discussão e a busca por respostas mais coerentes trazem o benefício de se encontrar uma solução lógica e irrefutável, uma espécie de prova que não deixe dúvidas. O exemplo utilizado sobre o eclipse lunar foi uma prova de que a Terra não é plana? Vimos que não, pois tanto uma Terra esférica quanto uma Terra plana podem gerar o mesmo padrão de sombra na Lua. Porém, ao estudarmos o comportamento dos raios solares na medição da curvatura da Terra, o terraplanismo não se sustenta quando utilizamos três poços equidistantes. As medições feitas são diferentes dos cálculos apresentados pelo modelo da Terra plana.

Obviamente, os terraplanistas não aceitam nenhuma dessas provas apresentadas, e inclusive mostram outras explicações para esses fenômenos que possuem certa lógica, contudo acabam deixando o modelo cada vez mais diversificado e complicado. Em relação ao eclipse lunar, por exemplo, alguns dizem ser um fenômeno eletromagnético, outros dizem ser um fenômeno atmosférico e ainda outros dizem existir astros hipotéticos que se colocariam à frente da Lua durante um eclipse.¹² Enfim, eles vão se utilizar de vários subterfúgios e sofismas para não aceitarem as provas, inventando ideias que distorcem o próprio modelo original.

O discurso ideológico terraplanista é permeado por elementos religiosos, numa espécie de teologia bíblica literalista extrema: a Terra é plana porque a Bíblia diz que é plana, independente-

mente do que a ciência nos diz [9]. Isso repercute em outros discursos mais perigosos como, por exemplo, que as vacinas são venenos!

Por experiência própria, não recomendamos o enfrentamento direto com os *trolls* da internet, pois eles são inflexíveis e se alimentam constantemente de teorias conspiratórias para continuar trollando o maior número de pessoas possível e com isso ganhar notoriedade e recursos financeiros. O que entendemos ser o mais sensato, nesse caso, é alertar nossos alunos sobre essa prática e buscar ensiná-los acerca da natureza da ciência e do seu método.

Outro ponto importante é que o uso das tecnologias de informação e comunicação (TICs) na educação vem se tornando uma forte tendência de pesquisa, uma vez que vivenciamos uma nova realidade social, a chamada sociedade da informação e comunicação, materializada pelas tecnologias digitais. Esse novo contexto social faz com que a escola busque repen-

O uso do Stellarium possibilita maior interação dos estudantes com os fenômenos celestes, sendo uma excelente opção pedagógica para o ensino de física

sar sua própria natureza, bem como uma nova mediação pedagógica que contemple essas tecnologias. A escola precisa inovar. “Uma inovação diz respeito a modificações

atitudinais, metodológicas ou instrumentais no sentido de alcançarmos determinados fins com maior facilidade” [10, p. 6].

Destacamos o uso do Stellarium para o ensino tanto da astronomia quanto da física como uma excelente opção pedagógica, que possibilita aos alunos fazerem observações mais precisas do cosmos. A inserção dessa tecnologia em sala de aula pode colaborar com a pesquisa em inovação tecnológica para transformar a educação. O Stellarium amplia nosso olhar e nossa percepção do universo. A observação do movimento em laço de Marte, por exemplo, é um processo que envolveria muito tempo de observação e de rastreamento do planeta contra o fundo estelar. Porém, com os recursos disponíveis no Stellarium esse fenômeno fica facilmente evidenciado.

Outro exemplo são as fases de Vênus. Sua observação a olho nu não é possível devido a nossa limitação. Contudo, ao utilizarmos o Stellarium, nossa visão se altera e se torna mais fácil enxergar detalhes como esse no espaço.

A observação do céu e a investiga-

ção da mecânica celeste é algo que está muito relacionado com os conceitos que aprendemos na física e na matemática. Entendemos a necessidade da utilização da geometria e da trigonometria para poder localizar esses astros e medir suas distâncias em relação a nós. O uso de coordenadas cartesianas e da ci-

nemática nos ajudam a prever os movimentos celestes. Defendemos o uso do Stellarium por ele conseguir contextualizar esse conhecimento e convidamos todos a experimentarem seus recursos.

A função docente precisa ir além do ensino de determinados conhecimentos. Ela precisa aprender a inspirar e

provocar seus alunos para que busquem respostas. Ao trazer o debate da Terra plana para a sala de aula e ao oferecer pistas e sugestões para essa investigação, estamos seguramente suscitando esse processo.

Notas

¹Os termos 'terraplanistas' e 'globalistas' são amplamente divulgados nesses sites e canais de discussão.

²Um ramo das geociências preocupado com a forma e com a superfície terrestre.

³O guia do utilizador está disponível na versão pdf em <http://stellarium.org/>

⁴A missão da Sociedade da Terra Plana é promover a discussão do modelo da Terra plana, bem como arquivar a literatura existente sobre o tema. Para maiores informações acesse <http://theflatearthsociety.org/>.

⁵Retirado do site de frases e pensamentos <https://www.pensador.com/>.

⁶Na enciclopédia colaborativa da Wikipedia, por exemplo.

⁷Em ciência e filosofia, *ad hoc* significa a adição de hipótese(s) estranha(s) a uma teoria para salvá-la de ser falseada.

⁸Durante os anos de 1849 a 1865 ele publicou diversos panfletos e um livro descrevendo sua visão de uma Terra plana alicerçada na interpretação literal de passagens da Bíblia.

⁹A Lua cheia acontece quando o Sol ilumina todo o lado do satélite natural voltado para a Terra. Quando ocorre uma Lua cheia no perigeu (período em que ela está mais próxima do nosso planeta), temos a chamada superlua, maior e mais brilhante do que o normal.

¹⁰Diretor do Planetário Hayden, Neil deGrasse Tyson, seus co-apresentadores de quadrinhos, celebridades e cientistas convidados discutem astronomia, física e tudo mais sobre a vida no universo em <https://www.youtube.com/user/startalkradio/>.

¹¹A retrogradação também era explicada no modelo geocêntrico com os epiciclos introduzidos por Apolônio de Perga (Séc. III a. C.).

¹²Para mais informações acesse: <https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=luz-da-lua-na-mitica-terra-plana-e-no-mundo-real>

Referências

[1] E.P. Cecílio Junior, *Stellarium: Aprendendo Astronomia com Software* (Appris, Curitiba, 2016).

[2] E.E. Buckers, P.D. Tranell, D.L. Paulhus, *Personality and Individual Differences*, **67**, 97 (2014).

[3] S. Weinberg, D. Bottmann, *Para Explicar o Mundo* (Companhia das Letras, São Paulo, 2015).

[4] R.A. Martins, *O Universo: Teorias Sobre Sua Origem e Evolução* (Editora Moderna, São Paulo, 1994).

[5] M.G. Schappo, *Física na Escola*, **17**(2), 20 (2019).

[6] F.L. Silveira, *Física na Escola*, **15**(2), 4 (2017).

[7] R.P. Crease, *Os Dez Mais Belos Experimentos Científicos* (Jorge Zahar, Rio de Janeiro, 2006).

[8] A. Naess, *Galileu Galilei: Um Revolucionário e Seu Tempo* (Jorge Zahar, Rio de Janeiro, 2015).

[9] E.C. Scott, *Annual Review of Anthropology*, **26**, 263 (1997).

[10] M.V.S. Kucharski, *Fundamentos de Inovação e Tecnologia Educacional* (UTFPR Editora, Curitiba, 2017).