



## ERATÓSTENES DE CIRENE E ARISTARCHUS DE SAMOS: A ESFERICIDADE DA TERRA E O TERRAPLANISMO COGNITIVO DE HOJE

## ERATOSTHENES OF CYRENE AND ARISTARCHUS OF SAMOS: THE SFERICITY OF THE EARTH AND TODAY'S COGNITIVE TERRAPLANISM

**Gabriel C. Sartori, Lucas F. Bizerra, Marcos C.D. Neves,  
Maria C.G. Paulino, Maria R.L. Maraschi, Milena C.P. Ferruzi,  
Nuria C. Scarpin, Raphael F. Almeida, Samuel S. Santos**

Programa de Educação Tutorial (PET-Física). Universidade Estadual de Maringá (UEM).

**Resumo:** *O presente trabalho descreve a observação telescópica do eclipse lunar total ocorrido entre 15-16 de maio de 2022 no sul do Brasil (Maringá, lat. 23,5°S; long. 52°W). A observação foi realizada do início do fenômeno à sua totalidade e dessa até o seu derradeiro final. Será mostrado aqui, graças ao método desenvolvido por Aristarchus de Samos, uma forma relativamente simples para determinar, com razoável precisão (< 10%), o valor do raio terrestre. Expõe ainda uma observação/experimento para o cálculo da circunferência terrestre, mediante a observação do fenômeno do sol a pino num local sob o Trópico de Capricórnio comparado com outra realizada num outro local distante 900 km. Resgata-se a história por detrás da observação e cálculo de Eratóstenes de Cirene, há mais de 2000 anos. O propósito final deste trabalho é o de descrever descrição fenômenos naturais, um eclipse lunar total e o início do solstício de verão, para lutar contra o terraplanismo que hoje grassa o Brasil*

**Palavras-chave:** *Eclipse lunar, Sostício de verão, Aristarchus de Samos, Eratóstenes de Cirene, Crítica ao terraplanismo.*

**Abstract:** *The present work describes the telescopic observation of the total lunar eclipse that occurred between May 15-16, 2022 in southern Brazil (Maringá, lat. 23.5oS; long. 52oW). The observation was carried out from the beginning of the phenomenon to its entirety and from then until its end. Thanks to the method developed by Aristarchus of Samos, a relatively simple way to determine, with reasonable precision (< 10%), the value of the Earth's radius will be shown here. It also exposes an observation/experiment for calculating the earth's circumference, through the observation of the phenomenon of the sun at full height in a location under the Tropic of Capricorn compared with another carried out in another location 900 km away. The story behind the observation and calculation of Eratosthenes of Cyrene, more than 2000 years ago, is recovered. The final purpose of this work is to describe natural phenomena, a total lunar eclipse, and the beginning of the summer solstice, to fight against flat earthing that is currently spreading in Brazil.*

**Keywords:** *Lunar eclipse, Midsummer, Aristarchus of Samos, Eratosthenes of Cyrene, Criticism of flat earthing.*

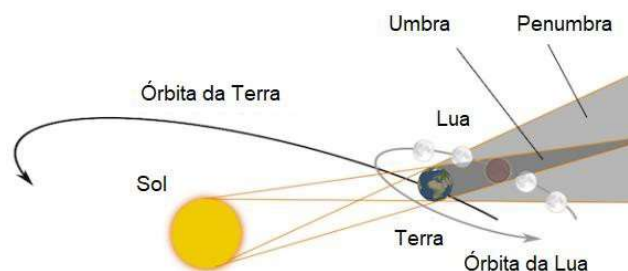
## INTRODUÇÃO

O termo lua de sangue como é conhecido de maneira popular o eclipse lunar, é dado por conta do tom avermelhado no qual é possível observar a lua durante o fenômeno. Isso ocorre pelo fato dos raios de luz que saem do Sol, passam pela atmosfera da Terra e sofrem um aumento em seu comprimento de onda, isso faz com que ao serem refletidos na Lua sejam observados com a cor vermelha. Além disso, também é possível observar a sombra da Terra diretamente na Lua, o que torna possível uma observação simples a respeito do formato de nosso planeta. No dia dezesseis de maio de dois mil e vinte e dois, este fenômeno ocorreu e foi visível em todo o Brasil. Com isso, foi observado e registrado em fotografias, imagens do evento na cidade de Maringá-PR.

Este trabalho tem como objetivo apresentar a observação registrada para a definição da forma da Terra e o cálculo de seu raio (segundo o método desenvolvido por Aristarchus de Samos). Apresentará ainda o método desenvolvido por Eratóstenes de Cirene do cálculo da circunferência da Terra a partir da sombra de um obelisco em Alexandria (Egito) no dia do solstício de verão no hemisfério norte. Este último experimento foi reproduzido no dia do solstício de verão no hemisfério sul, envolvendo duas cidades no Brasil, Maringá-PR e Pelotas-RS, distanciadas cerca de 900 km e quase na mesma longitude.

## O FENÔMENO DO ECLIPSE LUNAER

Eclipse é um fenômeno astronômico raro onde a Terra e a Lua se alinham no plano do Sol e há uma obstrução dos raios solares. Um eclipse solar acontece durante a Lua nova, quando a Lua está entre o Sol e a Terra e por um breve momento o Sol é eclipsado pela Lua. Quando a Lua está cheia e há o alinhamento dos astros, acontece um eclipse lunar, ou como é mais conhecido, Lua de sangue. Conforme a figura 1, um eclipse lunar tem duas fases, a primeira fase (eclipse penumbral) os raios solares são parcialmente obstruídos. Já na segunda fase (eclipse umbral) é quando todos os raios solares são obstruídos e a Lua começa a ganhar um tom avermelhado. O tom avermelhado da Lua acontece porque os raios solares que atravessam a atmosfera da Terra são refratados em certos comprimentos de onda (próximo do vermelho), esse fenômeno é conhecido como dispersão de Rayleigh e é o mesmo fenômeno responsável pelo pôr do sol.



**Figura 1.** Diagrama do eclipse lunar. (Fonte: Adaptado de NEVES, 2011)

No dia 16 de maio de 2022 ocorreu um eclipse lunar total onde foi possível observar todas as fases do eclipse, visto de toda América Latina, parte da América do Norte, África e Europa, foram obtidas fotografias do eclipse usando um telescópio MEADE (tipo Cassegrain-Schmidt, D=102 mm; F= 1000 mm f/10) acoplado a uma câmera de celular Android, Samsung J8 e, posteriormente editadas cronologicamente (foi usado como apoio um outro telescópio similar da marca BAUSCH-LOMB).

A partir do fenômeno do eclipse lunar total, nós vamos estimar o diâmetro da Terra matematicamente baseando-se no método de Aristarco. Aristarco de Samos foi um astrônomo e matemático grego que no século III a.C escreveu sua obra mais famosa, “Sobre o tamanho e distâncias entre o Sol e a Lua”, onde descreve com boa precisão os tamanhos do Sol, da Lua e as distâncias entre os astros usando os dados de um eclipse lunar. Nós nos baseamos no método dele para estimar o diâmetro da Terra.

## O método

Usando o método de Aristarchus, consideremos a figura 2, abaixo:

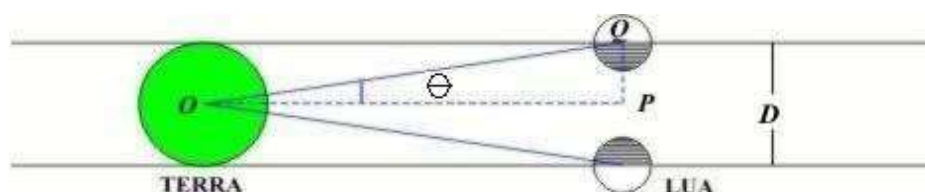


Figura 2. Método de Aristarco. (Fonte: XINGU, 2022)

O segmento de reta OQ é a distância entre a Terra e a Lua (DT-L), o segmento QP é o raio da Terra (RT) e, portanto,  $D = 2QP$ . Assim, podemos calcular o diâmetro da Terra usando o triângulo retângulo OPQ:

$$D_{T-L} = \frac{R_T}{\text{sen}\theta}$$

Para determinar o ângulo  $\theta$ , vamos lembrar que a Lua percorre uma volta de  $360^\circ$  em torno da Terra e isso leva aproximadamente 29,5 dias (42.480 minutos). Assim, o tempo que a Lua leva para percorrer o arco de círculo da figura 2, isto é, o tempo que a Lua leva para sair da posição inicial (metade escurecida pela projeção da Terra) e chegar na posição final (metade iluminada fora da projeção da Terra), pode ser obtido pela seguinte relação:

$$\frac{T}{29,5} = \frac{2\theta}{360^\circ}$$

$$\theta = \frac{1}{2} 360^\circ \left( \frac{T}{29,5} \right)$$

O tempo total do eclipse foi de 204 minutos. Este dado foi obtido pelo site da NASA (National Aeronautics and Space Administration) no fuso horário EDT (Eastern Daylight Time), e verificado in loco pela observação realizada. Levaremos em conta somente o tempo de deslocamento da Lua, não importando o fuso horário (figura 3). Também usaremos a distância da Terra até a Lua de 384.400 km (NEVES, 1986).

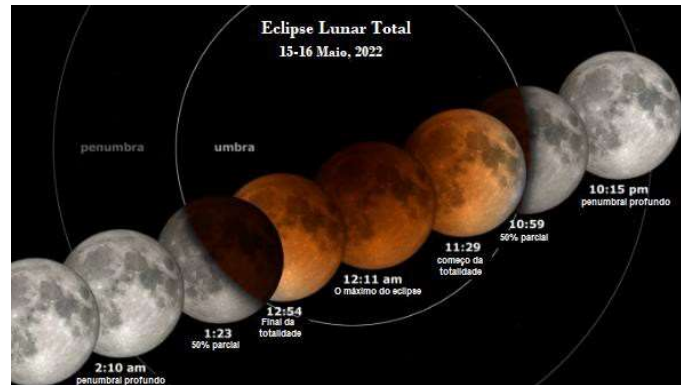


Figura 3. Tempo do eclipse total. (Fonte: NASA, 2022)

Com todos os dados disponíveis, o cálculo do diâmetro da Terra pode ser obtido por:

$$\theta = \frac{1}{2} 360^\circ \left( \frac{204}{42480} \right); \theta = 0,86$$

$$R_T = D_{T-L} \text{sen} \theta; R_T = 384.400 \text{sen}(0,86)$$

$$R_T = 5799 \text{ km}; D_T = 2R_T = 11598 \text{ km}$$

O diâmetro da Terra, como é sabido, é de 12742 km (NEVES & ARGÜELLO, 1986). Calculando a porcentagem de erro encontrada no experimento, temos que:

$$E = \left| \frac{E_{\text{experimental}} - E_{\text{teórico}}}{E_{\text{teórico}}} \right| 100\%; E = \left| \frac{11598 - 12742}{12742} \right| 100\%; E = 8,97\% \sim 9\%$$

## CONSIDERAÇÕES SOBRE O FENÔMENO OBSERVADO

Uma característica da observação realizada e dos registros fotográficos feitos, foi a constatação observacional e curiosa da Lua eclipsada sob a constelação do Escorpião (figura 4).

A foto apresentada na figura 5 é bastante expressiva pois mostra claramente parte da sobra da circunferência da Terra na Lua.



(4)



(5)

**Figura 4.** Lua eclipsada sobre a cabeça da constelação do Escorpião. (Fonte: acervo dos autores)

**Figura 5.** A sombra da Terra na Lua. (Fonte: acervo dos autores)

## ERATÓSTENES DE CIRENE E A ESFERICIDADE DA TERRA

O astrônomo, historiador, geógrafo, poeta e matemático, Eratóstenes de Cirene (de 276 a 195 a.E.C) é lembrado como a primeira pessoa a medir a circunferência da Terra. Nascido em Cirene (atual Líbia), Eratóstenes era, desde a infância, um exímio observador e questionador das explicações míticas dos fenômenos naturais. Em sua maioridade viajou muito pela Grécia e estudou em Atenas e Alexandria.

Após concluir seus estudos passou a trabalhar na Grande Biblioteca de Alexandria como bibliotecário-chefe. Eratóstenes, provavelmente lendo um rolo de papiros, obteve a informação de que ao meio-dia do dia do solstício (21 de junho no hemisfério norte) o Sol, ao meio dia local em Siena (hoje Assuan) [figura 6] estava refletido pelas águas do interior de um poço, ou seja, o fenômeno do sol a pino (figuras 7 e 8).

Este evento, entretanto, não ocorria em Alexandria. Essa afirmação poderia confirmar a esfericidade terrestre, fortalecida pelas outras evidências observacionais e analógicas (navio que se afasta no horizonte, forma esférica do sol e da Lua, diferentes alturas das mesmas constelações em distintos lugares do planeta, etc). Sendo a Terra esférica, restava determinar sua dimensão. Em Siena, os raios solares ficariam perpendiculares ao sol, uma vez que estava sob a linha do Trópico de Câncer. Já em Alexandria (ao norte do Egito), bastante distante de Siena, Eratóstenes, observando um obelisco ou mesmo com ajuda de uma haste, observou a projeção da sombra no chão. O ângulo  $\square$  formado pela haste e a sombra foi de aproximadamente  $7,2^\circ$  (figura 12).

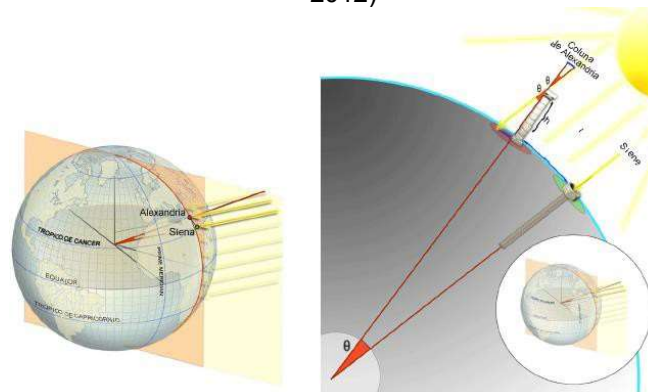


(6)

(7)

**Figura 6.** Localização das antigas cidades de Siena e Alexandria e um esquema ilustrativo de trigonometria, sendo possível utilizar semelhança entre triângulos para estimar o ângulo  $\alpha$  e, conseqüentemente, a circunferência da Terra.

**Figura 7.** Poço de água encontrado na região da antiga Siena, Egito. (Fonte: MATHIGON, 2012)



**Figura 8.** Localização de Alexandria e Siena, com a presença de uma coluna (ou obelisco em Alexandria) e o poço em Siena. (Fonte: CFP, 2012)

## ERATÓSTENES E CARL SAGAN

O físico e divulgador científico Carl Sagan (figura 9) ilustrou brilhantemente o experimento de Eratóstenes usando materiais de baixo custo para mostrar a lógica da esfericidade da Terra. Em um episódio de sua série Cosmos, ele demonstrou como a curvatura terrestre causa diferentes tipos de sombra quando temos uma fonte de luz (SAGAN, 1980). Na demonstração de Sagan, ele ressaltou como a ideia de Eratóstenes foi revolucionária para a época e como é possível utilizar dessa experiência para aguçar e estimular o ensino da Astronomia.



(a)

(b)

(c)

**Figura 9.** Série Cosmos distribuída pela Amazon do Brasil (a) e imagens da série com Carl

Sagan falando sobre o experimento (b e c). 2017).

Após um convite de um grupo denominado ERATÓSTENES NA VIDA (OLIVEIRA et al, 2020), resolvemos reproduzir o experimento do sábio grego na cidade de Maringá-PR e com dados coletados também na cidade de Pelotas-RS, cerca de 900 km de distância (figura 10) e quase na mesma longitude, de aproximadamente 52o W (na verdade 51o56' para Maringá e 52o20' para Pelotas). O que ajudou no experimento foi a localização de Maringá, exatamente sob o Trópico de Capricórnio (figura 11), quando o verão, que se inicia no dia 22 de dezembro de cada ano, reproduz o fenômeno do “sol a pino”, como na velha Siena (Assuan) egípcia.



(10)



(11)

**Figura 10.** Distância Maringá-Pelotas (aprox.. 900 km). (Fonte: mapa retrabalhado a partir de ESCOLA- EDUCAÇÃO, 2022)

**Figura 11.** Fotografia da placa informativa da localização do Trópico de Capricórnio em Maringá-PR. (Fonte: acervo dos autores)

As figuras 12 e 13 mostra o marco da linha do Trópico de Capricórnio, constituindo-se como uma espécie de arco que deveria paralelo ao equador celeste. A figura 19 ilustra um ensaio observacional que foi feito sobre o arco do monumento em Maringá (com duas esferas celestes posicionadas no ângulo de latitude local, um marcador angular, uma bússola e um busto em mármore do sábio Eratóstenes, além de um palito (gnômon) colocado em posição perpendicular ao plano do arco). A figura 14a ilustra exatamente o meio dia local, com a sombra posicionada sob os pés do observador. A figura 14b mostra os detalhes das sombras sob os instrumentos.



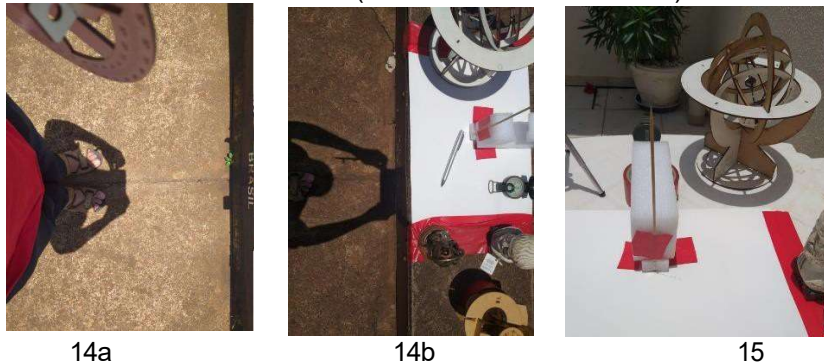
(12)



(13)

**Figura 12.** Escultura ou marco indicativo da linha do Trópico de Capricórnio passando por Maringá (latitude =  $22,5^{\circ}\text{S}$ ). (Fonte: do acervo dos autores).

**Figura 13.** Detalhe do marco do Trópico mostrando alguns instrumentos astronômicos na metade do arco. (Fonte: acervo dos autores)



**Figuras 14.** O fenômeno do “sol a pino” representado sob os pés e sob a esfera celeste. (Fonte: acervo dos autores)

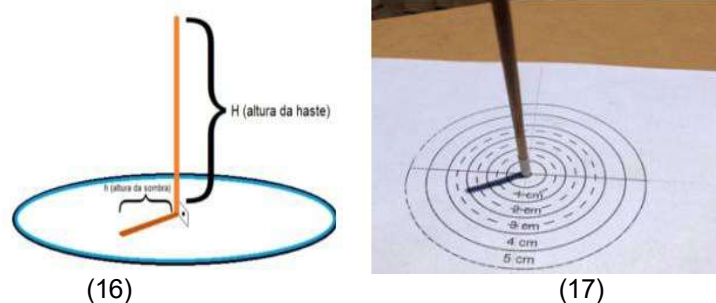
**Figura 15.** Gnômon (palito de madeira) colocado em posição perpendicular ao plano da mesa (ao fundo uma esfera celeste armilar). (Fonte: acervo dos autores)

Uma vez acertado o experimento/observação, ele foi transferido para um lugar mais apropriado, à proteção do vento e da interferência do tráfego de veículos, conforme ilustra a figura 15.

## Resultados

A replicação do experimento realizado pelo método de Eratóstenes de medição da circunferência da Terra, a partir de dados coletados da região de Maringá-PR e Pelotas- RS demonstrou que é possível fazer a medição do raio terrestre com instrumentos de baixo custo, obtendo um resultado bastante adequado e similar àquele encontrado pelo sábio grego.

De início, foi necessária a realização de duas medidas em cidades diferentes (Maringá-PR e Pelotas-RS), analisando a distância entre as cidades (aproximadamente 900 km), o ângulo entre elas e, por consequência, permitir, com todos estes dados, calcular a circunferência da Terra. Foram necessários um palito de madeira como haste, um suporte para esse palito, um relógio, uma trena, e um nivelador para aferir se a superfície estava plana. Inicialmente foi estabilizado o palito (gnômon) de madeira no suporte para que o ângulo entre o palito e o suporte tivesse precisamente  $90^{\circ}$  como demonstrado nas figuras 16 e 17.



**Figura 16.** Ilustração de como deve ser disposto o experimento com o palito de madeira





(gnômon) e seu suporte.

**Figura 17.** Disposição do experimento quanto ao palito de madeira (gnômon) e seu suporte.

(Fonte: OLIVEIRA *et al*, 2020)

Desse modo, medimos a altura da haste e a da sombra. Utilizando a expressão abaixo calculamos o arco tangente, verificando o ângulo do local onde foram coletados os dados. Utilizamos aplicativos de geolocalização para verificar a distância entre os dois pontos que o experimento foi realizado, que correspondeu a 900 km. O ângulo formado entre os raios solares (em radianos) e a vertical é determinado pelo arco tangente por meio da expressão abaixo, onde  $h$  é o comprimento da sombra e  $H$  é o comprimento da haste.

$$\tan(\theta) = \frac{h}{H}$$

$$\tan(\theta) = \frac{2,1}{15} = 0,14$$

$$\arctan(0,14) = \theta \cong 8^\circ$$

Sabendo que o ângulo é de  $8^\circ$  e que ele é igual ao ângulo da circunferência que liga a cidade de Pelotas-RS e Maringá-PR (da trigonometria: ângulos alternos internos) e que essa distância é de 900 km, obteve-se  $1/45$  da circunferência, a partir disso, teríamos  $45 \times 900 = 40.500$  km de comprimento da circunferência terrestre, com raio de 6.445 km.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento de Eratóstenes foi um dos mais brilhantes e marcantes já realizados no mundo. Através dele, é possível desmistificar teorias sobre o formato da Terra, uma vez que o ângulo formado pelas sombras é diferente em locais longínquos quando da mesma data, validando sua forma esférica (ou quase esférica; sabemos hoje, um esferóide de revolução). O valor obtido aqui no presente trabalho foi de 40.500 km para a circunferência da Terra. Comparando ao valor real, 40.075 km, medido na linha do equador, o desvio encontrado foi de aproximadamente 1%.

Esta prática observacional/experimental é crucial para envolver alunos e professores de um local e colocá-los em contato com outros locais, mediante a comunicação direta via mídias (Whatsapp, Meet, Messenger do FB, etc), para a realização de um experimento importante. Tal fato demonstra a necessidade de esclarecer que a Astronomia é, por excelência, uma ciência da comunicação social, pois seria impossível construir a noção da Terra como referencial e com sua forma esférica, mediante dados medidos somente de uma única plataforma de observação. Seu valor didático, histórico e epistemológico é extremamente importante, especialmente quando vivemos uma era, em nosso país, profascista e de terraplanismo cognitivo em diversas áreas do conhecimento.

Voltando ao cálculo do diâmetro da Terra pelo método de Aristarco, aqui utilizado, fica evidente a importância da História da Ciência, quando os resultados obtidos apontam para um desvio de somente 9% do valor real. E o mais



surpreendente: utilizando uma metodologia observacional de mais de 2200 anos, provando, de forma simples e didática, o formato e a dimensão de nosso planeta. Surpreende ainda mais quando lembramos que a situação em que vive o Brasil hoje, com um recrudescimento de uma “cognição” terraplanista, a anticultura das fake news trabalha vigorosamente para o eclipse da civilização e dos caros valores de nossa humanidade (PASTERNAK; ORSI, 2021).

### **Agradecimentos**

Agradecimentos ao apoio financeiro da SESu-MEC como suporte aos trabalhos do Programa de Educação Tutorial.

### **REFERÊNCIAS**

CFP. **O experimento de Eratóstenes.** Disponível em: <<http://cfp.ufcg.edu.br/portal/index.php/textos-de-divulgacao/529-experimento-de-eratostenes>>. Acesso em: 15 ago. 2022.

ESCOLA-EDUCAÇÃO. Disponível em: <<https://br.pinterest.com/pin/694398836291817722/>>. Acesso em 15 aago. 2022.

FRIAÇA, A. C. S; PINO, E.; PEREIRA, V. J. **Astronomia. uma visão geral do universo.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

MATHIGON, **Erathostenes.** Disponível em: <<https://pt.mathigon.org/step/circles/eratosthenes>> Acesso em: 15 ago. 2022.

NASA. **Total lunar eclipse.** Disponível em <<https://moon.nasa.gov/resources/487/total-lunar-eclipse-may-2022/>> . Acesso em: 17 ago. 2022.

NEVES, M. C. D. e ARGÜELLO, C. A. **Astronomia de Régua e Compasso: de Kepler a Ptolomeu.** Campinas: Papirus, 1986.

NEVES, M. C. D. **Astronomia e Cosmologia: fatos, conjecturas e refutações.** Maringá, EDUEM, 2011. OLIVEIRA, A. S. *et al.* **Eratóstenes na vida.** Pelotas, UFPel, 2020.

SAGAN, C. **Cosmos.** Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1980.

PASTERNAK, N.; ORSI, C. **Contra a realidade: a negação da ciência, suas causas e consequências.**

Campinas: Papirus 7 Mares, 2021.

XINGU. **Eclipse Lunar.** Disponível em: <<http://xingu.fisica.ufmg.br:8087/oap/public/pas74.htm>> . Acesso em: 17 ago. 2022.