

OS ECLIPSES NUMA PROPOSTA HISTÓRICA E PEDAGÓGICA

ECLIPSES IN A HISTORICAL AND EDUCATIONAL APPROACH

Marcos Daniel Longhini¹, Alejandro Gangui²

¹ Universidade Federal de Uberlândia / Faculdade de Educação, mdlonguini@yahoo.com.br

² Universidade de Buenos Aires / Instituto de Astronomia e Física do Espaço, relat@iafe.uba.ar

Resumo

Este trabalho tem como propósito apresentar quais os principais modelos que surgiram no decorrer da história da Astronomia para explicar os eclipses. São eles, “modelo obturador”, o “modelo de fricção” e o “modelo das sombras”, sendo este último, o cientificamente aceito. A partir disso, proporemos a construção de um modelo didático apoiado no “modelo das sombras”, tendo em vista que é aquele que empregamos para explicar tal fenômeno na atualidade, ainda que reconhecemos a relevância do professor discutir outras possibilidades, como os outros distintos modelos surgidos na história. Construído com materiais de baixo custo, como placa de acrílico, bolinhas de massa de modelar e lâmpada, além de fácil manipulação pelo professor, o referido modelo permite compreender, e levar nossos alunos a compreender, por exemplo, o motivo pelo qual não há eclipses a cada seis meses.

Palavras-chave: Eclipses; modelos históricos; proposta pedagógica.

Abstract

This paper aims to present the main models which have emerged during the history of astronomy to explain the eclipses. They are, "Shutter Model", the "Friction model" and the "Model of the shadows", the latter being the scientifically accepted. From this, we propose the construction of a teaching model supported the "model of the shadows", considering that is the one we use to explain this phenomenon at present, although we recognize the importance of the teacher to discuss other possibilities, like other distinct models encountered in history. Built with low-cost materials such as acrylic plate, balls and lamp, easy handling by the teacher, that model explains, and lead our students to understand, for example, why there are not eclipses every six months.

Keywords: eclipses; historical models; pedagogical proposal.

1. INTRODUÇÃO

Via de regra, quando um fenômeno não cotidiano ocorre, como um eclipse, por exemplo, as atenções voltam-se para ele e os meios de divulgação tentam explicar como ele ocorre, geralmente, em termo das posições dos astros no céu. Porém, no decorrer da história da humanidade, o homem não teve sempre a mesma facilidade de compreender tal fenômeno, nem tampouco sua postura frente a ele foi só de apreciação ou curiosidade. Muitas vezes, algo tão estranho suscitava medo ou sentimentos de mesma natureza.

Tendo em vista o potencial que esse tema propicia para o ensino de Astronomia, nesse texto pretendemos mostrar alguns aspectos históricos, principalmente, no que se refere aos modelos que homem criou, no decorrer dos tempos, para explicar a ocorrência dos eclipses. Sinteticamente, explicaremos sobre o “modelo obturador”, o “modelo de fricção” e o “modelo das sombras”. Além disso,

proporemos a construção de um modelo didático, tendo por base o “modelo das sombras”, a partir do qual o professor poderá explorar o tema com seus alunos.

2. OS ECLIPSES NA HISTÓRIA DA ASTRONOMIA

As diversas antigas hipóteses gregas e romanas sobre as causas dos eclipses revelam, em geral, uma atitude científica e são dignas de serem incorporadas com legitimidade à história da ciência. Os modelos surgidos, desde o princípio, sempre envolvem aspectos cosmológicos que vão além da relação entre os três astros (Terra, Sol e Lua), implicando considerações gerais sobre o sistema solar e sobre a natureza dos corpos celestes. Estes modelos revelam a consolidação de um marco explicativo, que é atualmente o vigente. Via de regra, ele é chamado de “modelo das sombras”, por ter as sombras como seu aspecto central. Todavia, ele não foi o único. Apresentaremos, brevemente, os principais modelos teóricos distinguíveis na Antiguidade.

Modelo obturador: Este modelo foi defendido por Anaximandro, e requer um compromisso teórico com a compreensão do Sol e da Lua com anéis ociosos, que possuem fogo em seu interior e que têm em seu centro uma abertura circular, pela qual emana a luz que nos chega cotidianamente destes astros (KAHN, 1960). Anaximandro explica as mutantes fases da Lua, e da mesma forma, a dos eclipses, recorrendo a este modelo. Concebe, pois, as mudanças no aspecto dos astros como o resultado de “obturações temporárias” de ditas bocas circulares, explicadas por fenômenos atmosféricos intrínsecos ao Sol e à Lua. Os testemunhos mais relevantes sobre estas ideias que chegaram até nós, devemos a Hipólito de Roma, Aécio e Simplicio, que manifestam que Anaximandro teve, em sua vida, uma autêntica preocupação por explicar os eclipses. Simplicio (s. VI d.C.), em *Comentário al De Caelo* (ARISTOTELES, 1996), sustenta que Anaximandro pode conhecer as distâncias da Terra ao Sol e à Lua graças ao seu estudo dos eclipses (DIELS e KRANZ, 1952, p.12-19; VV. AA., 2000, p.161).

Ainda sobre o modelo obturador, Hipólito de Roma (s. III d.C.), em *Refutación de todas las herejías* I, 6, 4 (DIELS e KRANZ, 1952, p.12; VV. AA., 2000, p.165), aponta que, segundo Anaximandro:

[...] os astros são gerados como um círculo de fogo, separando-se do fogo do mundo, circundado cada um por ar. Há orifícios, em forma de flautas, através dos quais se mostram os astros, pelo qual, quando os orifícios são obstruídos, produzem-se os eclipses (VV. AA., 2000, p.161, tradução nossa).

Ditos testemunhos coincidem com o previsto por Aécio (s. I-II d.C.), em *Placita philosophorum* (compiladas posteriormente nos séculos IV-V d.C.), que atribui a Anaximandro a ideia de que o “eclipse do Sol é produzido ao se obstruir a abertura pela qual o fogo é exalado” (DIELS e KRANZ, 1952, p.12-21; VV. AA., 2000, p.167, tradução nossa), ao passo que “a Lua se eclipsa ao obstruir a abertura da roda” (DIELS e KRANZ, 1952, p.12-22; VV. AA., 2000, p.168, tradução nossa).

O modelo que estes textos nos apresentam é de uma Terra cilíndrica, rodeada esfericamente por ar, névoa e fogo. O Sol, a Lua e as estrelas se equilibram por um mecanismo invisível e eram imaginados como “aberturas” na névoa, através das quais os homens viam o fogo brilhar. O mesmo mecanismo explicava os eclipses por meio do fechamento das aberturas na névoa.

Modelo de fricção: denomina-se assim o modelo que fora sustentado por Demócrito de Abdera (460 a.C.- cerca de 370 a.C.), e que propõe que a invisibilidade do Sol ou da Lua durante um eclipse seria causada por um fenômeno ocasional "de declínio" de suas respectivas órbitas. Ditos movimentos, atribuídos pelas pessoas comuns à ação de bruxas ou magos, eram denominados também, segundo o Escolio, a Apolônio de Rodas III, 553 (DIELS e KRANZ, 1952, p.68; VV. AA., 1997, p.554), de "descidas", às quais se atribuía o obscurecer do corpo celeste eclipsado.

A respeito da "produção humana de eclipses" mediante feitiçaria, Platão cita, em *Gorgias 513a*, que as bruxas tessálias sofriam, como resultado do esforço por fazer descer estas luminárias, sérios danos físicos, como queimaduras e paralisias nas pernas (PLATÃO, 1980, nota de F. García Yagüe). Por outra parte, Estrepsíades, o limitado aluno do pensadero de Sócrates, em *Las nubes* de Aristófanes, também propõe pedir a uma maga de Tessália que abaixe a Lua para, então, fechá-la em uma caixa e evitar que o tempo passe, medido essencialmente pelos ciclos lunares, economizando, assim, a necessidade de pagar suas dívidas (ARISTÓFANES, 1999, v. 750). Plínio, o Velho, em *Naturalis historia* II, 9 (PLINI SECUNDI, 1906), também comenta que uma pessoa comum considerava os eclipses como resultado da ação de bruxas e que, por essa razão, aqueles que eram surpreendidos por um eclipse deveriam produzir ruídos com as mãos, o máximo que pudesse, de modo a evitar tais fenômenos.

A ideia principal do modelo de fricção é que o atrito ou a fricção dos corpos celestes contra o éter (usamos aqui o conceito aristotélico de éter, que é o mais usual) se reduziria pela própria diminuição da velocidade linear dos corpos (pois quanto mais perto do centro orbitam, menor é sua rapidez), fazendo com que ele diminua seu brilho. Outros testemunhos que permitem sustentar esta ideia foram previstos por Lucrécio em *De rerum natura* (LUCRECIO, 1997, livro V, p.621-636; DIELS e KRANZ, 1952, p.68-88; VV. AA., 1997, p.554) e por Diógenes Laercio, em seu tratado *Vidas de los filósofos ilustres* IX, 33 (DIELS e KRANZ, 1952, p.67; VV. AA., 1997, p.543).

A mesma ideia, ainda em tom jocoso, é apontada por Aristófanes, em *Las nubes*, v. 584, quando o Corifeu anuncia que em uma ocasião em que a cidade estava elegendo para o cargo de *Stratego* um personagem Aristófanes não gostava, no céu "a Lua abandonou seu curso e o Sol, retraindo com prontidão em si mesmo seu pavio, negava-se a brilhar" (ARISTÓFANES, 1999, p.65, tradução nossa).

Modelo das sombras: Denominamos desta forma a consideração dos fenômenos de eclipse como resultado da interposição da Lua ou da Terra na linha que une o Sol ao corpo que recebe a sombra. Segundo este modelo, os eclipses são simplesmente o resultado óptico causado pela sombra de um astro (Lua ou Terra) sobre o outro. Este modelo foi dominante na Antiguidade, sendo numerosíssimos os autores que o propuseram. Mencionamos somente uns poucos: Aristóteles, em *De caelo* II, 11, 291b24 (ARISTÓTELES, 1996), afirma que os eclipses são produto da sombra do corpo eclipsante e destaca que os eclipses da Lua são a principal prova da esfericidade da Terra, na medida em que a borda circular da sombra da Terra se evidencia com grande claridade sobre a superfície lunar.

Igualmente, Gémino (s. I a.C.), em *Introducción a los Fenómenos [de Arato]* XI, propunha esta ideia (ARATO / GÉMINO, 1993), e Higino (64 a.C.-17 d.C.) soma-

se à ampla lista de autores que propõem este modelo, oferecendo em sua *Astronomía IV*, 14, 3, a seguinte explicação dos eclipses:

De sua parte, um eclipse da Lua acontece quando esta [a Lua] se encontra alinhada com o Sol, oposto a ela por debaixo da Terra. Deste modo, se é traçada uma linha reta pelo centro da Terra, pode tocar por baixo o Sol e por cima a Lua. Quando isto ocorre, os raios de Sol, devido à magnitude da Terra, forçosamente são desviados, de tal modo que a luz, graças a qual a Lua brilha, não pode chegar. É assim como se crê que se produz um eclipse da Lua (HIGINO, 2008, p.347, tradução nossa).

Igualmente, Plínio, o Velho (62-113 d.C.), em *Historia natural II*, 7, 47, apoia este modelo, afirmando que:

Efetivamente, é certo que o Sol se eclipsa pela interposição da Lua, a Lua pela intercalação da Terra, e ambos os eclipses são equivalentes, já que sua respectiva interposição da Lua tira da Terra (e a Terra da Lua) os mesmos raios de Sol; também, que ao se introduzir a Lua, se originam imediatamente as escuridões, e, portanto, tal astro se escurece devido à sombra da Terra; também, que a noite não é outra coisa que a sombra da Terra, pois a forma da sombra é similar a um cone ou a um pião com a ponta para cima, porque cai sobre a Lua exclusivamente pela sua ponta e não excede sua altura, sendo assim que nenhum outro astro se escurece do mesmo modo e que uma figura como esta sempre termina em ponta (PLÍNIO, O VELHO, 1995, p. 354, tradução nossa).

Atualmente, sabemos que a Terra translada ao redor do Sol em um intervalo de 365,25 dias, e o faz em uma órbita elíptica muito próxima a uma circunferência, onde o Sol se localiza em um de seus focos. A Lua, por sua vez, cumpre sua órbita, também elíptica, ao redor da Terra em, aproximadamente, 27,32 dias. Mas essa órbita está inclinada em relação à da Terra ao redor do Sol (esta última, chamada de eclíptica) em torno de 5,1 graus. Durante seu movimento orbital, a Lua intercepta o plano da eclíptica em dois pontos opostos, chamados *nodos*. Somente quando a Lua se localiza em algum destes nodos pode ocorrer eclipses, pois são as únicas ocasiões em que a Terra, Sol e Lua podem encontrar-se quase perfeitamente alinhados. Isso ocorre, aproximadamente, a cada 5,8 meses sinódicos.

Mas a orientação da órbita da Lua não é constante no tempo; ao contrário, executa um movimento de "precessão" (isto é, a ortogonal ao plano da órbita lunar muda sua direção no espaço, como se tratasse do eixo de um pião, que perde velocidade de giro). Isso é devido, em parte, pela interação de nosso satélite com o Sol e com a Terra. Como consequência, a linha imaginária que une os *nodos* também muda e vai rodando lentamente pelo plano da eclíptica em sentido retrógrado (contrário ao da ordem dos signos zodiacais), em torno de 19,3^o por ano.

Esta breve síntese ilustra uma parte da complexidade que envolve a explicação (e ainda mais, a predição) dos eclipses. Por exemplo, o Ciclo de Saros (ciclo que prediz a ocorrência de eclipses similares) foi o resultado da cuidadosa observação e registro dos eclipses realizado pela astronomia mesopotâmica desde o século VIII a.C. (STEELE, 2000, p. 422-424, p.431-433). Trata-se de um ciclo de 6.585,32 dias —ou 18 anos, 10 (ou 11) dias e 1/3 de dia, se dentro do ciclo se incluem cinco (ou quatro) anos bissextos— que estabelecem o período de tempo entre dos eclipses totais sucessivos do Sol ou da Lua com similares características.

Para que um destes eventos aconteça, três condições importantes devem ser levadas em consideração: tratar-se de Lua nova ou cheia (eclipse de Sol ou da Lua, respectivamente), a Lua deve localizar-se em um dos *nodos* de sua órbita

(alinhamento quase perfeito entre os três corpos) e, por último, a distância entre a Lua e a Terra deve ser a mesma que no eclipse recorrente do ciclo anterior (por exemplo, para que o diâmetro da cobertura do disco solar pela silhueta da Lua e a sombra consequente, no caso de um eclipse do Sol, sejam as mesmas). O resultado é que a Lua se encontrará na mesma fase, se localizará em igual *nodo* e à mesma distância de nosso planeta, somente a cada 6.585,32 dias.

2. PROPOSTA PEDAGÓGICA

Nossa proposta de atividade didática é apoiada no “modelo das sombras”, tendo em vista que é aquele que empregamos para explicar tal fenômeno na atualidade, ainda que reconhecemos a relevância do professor discutir outras possibilidades, como os outros distintos modelos surgidos na história. Nosso modelo foi construído levando em consideração uma escala em que permita aos alunos compreenderem a escala de tamanho e distância dos astros envolvidos, principalmente, a Terra e a Lua. Para o Sol, o professor poderá usar uma fonte de luz ou realizar a atividade ao ar livre, empregando o próprio astro-rei para iluminar o modelo.

Utilizamos como material uma placa de acrílico e massa de modelar. A placa foi cortada em formato semicircular, representando apenas metade da órbita da Lua em torno da Terra. Opcionalmente, pode-se trabalhar com a órbita completa, caso o professor deseje. A distância real entre a Lua e a Terra é de 384.000 Km, e diâmetro da Terra é de 12.700 Km e o da Lua é de 3.500 Km, todos em valores aproximados. Empregamos a escala 1 cm – 9.600 Km. Conforme mostrado na figura 1 (a), isso implicou que a distância Terra-Lua foi reduzida a 40 cm, o diâmetro da Terra 1,3 cm e o da Lua de 0,4 cm, aproximadamente.

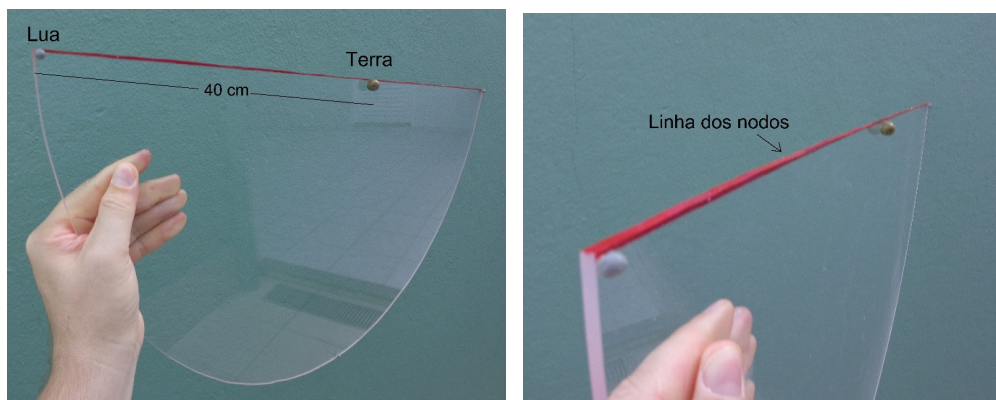


Figura 1: Modelo da órbita da Lua em torno da Terra. (a) dimensões. (b) linha dos nodos

Em nosso modelo, ainda, conforme indicado na figura 1 (b), pintamos na cor vermelha a linha dos nodos, ou seja, a posição em que a Lua, em sua órbita, potencialmente pode se alinhar com o Sol e a Terra.

Para representar a órbita da Lua em relação ao plano da eclíptica, colocamos o semicírculo transparente sobre uma superfície plana, conforme mostrado na figura 2 (a), e em uma das extremidades, inserimos um suporte de madeira 3,5 cm de altura, o que garante a inclinação aproximada de 5° da órbita lunar. O caminho que a Lua executa, periodicamente, em torno da Terra é seguindo a sequência A – B – C. Conforme indicado anteriormente, a possibilidade de ocorrerem eclipses se dá quando a Lua está sobre a linha dos *nodos*, o que pode propiciar eventuais alinhamentos. A figura 2 (b) mostra como pode ocorrer esse

alinhamento, quando se observa a posição da Terra e da Lua por um observador que vê tais astros a partir de uma das extremidades da linha dos nodos.

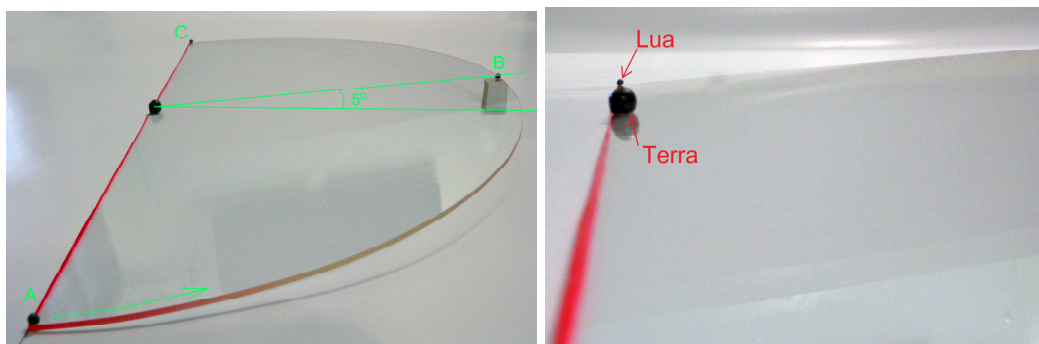


Figura 2: (a) Representação do plano Lua-Terra em relação a outra superfície (plano da eclíptica).
(b) Possibilidade de ocorrer eclipses – Terra, Sol e Lua alinhados sobre a Linha dos nodos.

Por outro lado, segundo o “modelo das sombras”, quando a Lua se encontra em qualquer outro ponto de sua órbita em torno da Terra, não há possibilidade de alinhamento entre ela, a Terra e o Sol. A figura 3 (a) mostra a posição da Lua e da Terra quando nosso satélite natural ocupa a posição B, em sua órbita, que revela que nessa situação, não há possibilidade de alinhamento entre os três astros. Se esse plano for iluminado, seja com uma luz artificial, conforme mostrado na figura 3 (b), ou ainda, empregando a própria iluminação pelo Sol, veremos que os cones de sombra da Lua e da Terra se dispersam pelo espaço, sem possibilidade de se projetarem sobre nenhum dos astros envolvidos.

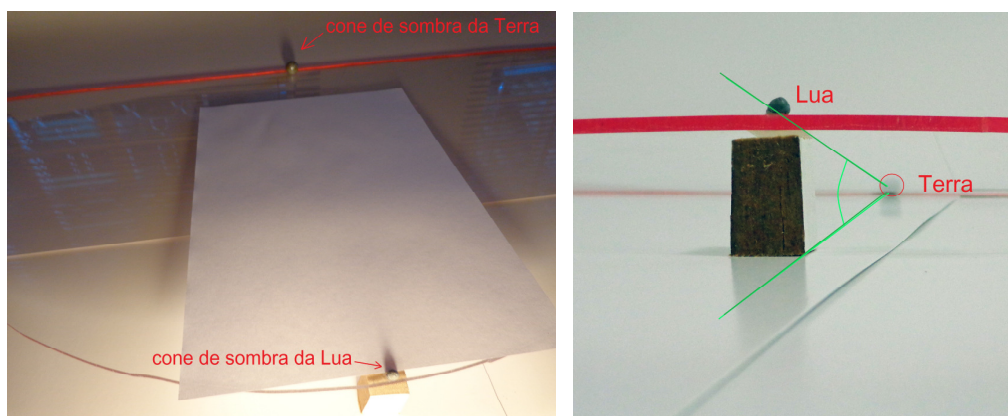


Figura 3: (a) Posição Lua e Terra, com nosso satélite natural na posição B, em sua órbita. (b) Modelo iluminado, mostrando os cones de sombra gerados pela Lua e pela Terra.

Por outro lado, conforme o “modelo das sombras”, o plano da órbita da Lua em torno da Terra não se mantém fixo em relação à eclíptica, senão, que executa um movimento de precessão. A figura 4 representa um resumo do movimento do plano da órbita da Lua num ciclo de aproximadamente 18,6 anos, no qual executa uma precessão completa.

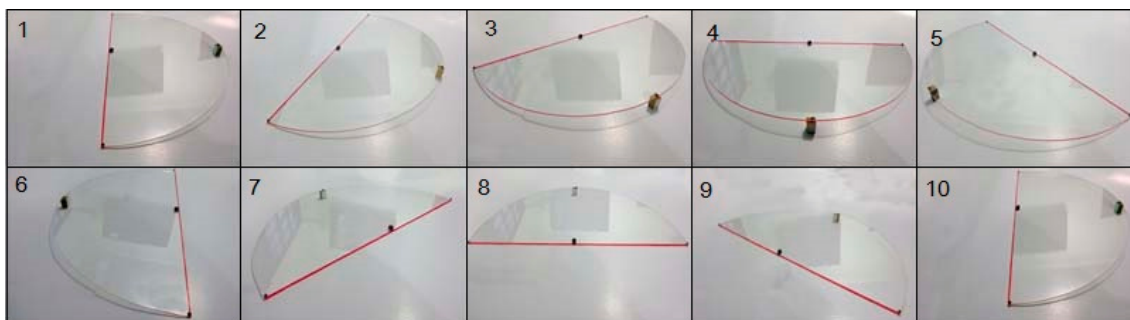


Figura 4: Representação de diferentes posições do plano da órbita da Lua no decorrer de, aproximadamente, 18,6 anos.

Com esta construção, é relativamente simples modelar o verdadeiro movimento do plano orbital da Lua ao redor de nosso planeta. Esse lento movimento de “precessão” do plano da Lua faz com que as possibilidades de eclipses não se produzam a cada seis meses, mas uns dias antes a cada ano. Em outras palavras, o alinhamento dos nodos se produz de tal maneira a adiantar as series de eclipses.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A História da Astronomia é uma rica fonte para percebermos os trajetos trilhados pelo homem em busca de explicar o que percebiam na natureza. Ela nos revela que o modelo conhecido na atualidade nem sempre foi assim entendido, apesar de ser o atualmente aceito. Nesse sentido, quando o professor revela ao aluno outras formas de conceber o mesmo fenômeno, dá a ela oportunidade para compreender que a ciência não é linear, nem tampouco apresenta modelos infalíveis. Todavia, temos uma forma de entender, que é a mais aceita na atualidade, tratando-se, no caso dos eclipses, do “modelo das sombras”, que nos permite compreender, e levar nossos alunos a compreender o motivo pelo qual não há eclipses a cada seis meses. Consideramos que esta construção, que emprega materiais cotidianos é simples de montar e pode ser muito útil para o professor de ciências que necessita trabalhar no espaço tridimensional (3D) aspectos relacionados com os eclipses e com o verdadeiro movimento da Lua ao redor de nosso planeta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARATO / GÉMINO. **Fenómenos / Introducción a los Fenómenos**. Madrid: Gredos, 1993. Traducción e introducción de E. Calderón Dorda.

ARISTÓFANES. **Las nubes - Las ranas - Pluto**. Madrid: Cátedra, 1999. Traducción e introducción de F. Rodríguez Adrados e J. Rodríguez Somolinos.
ARISTOTELES. **Acerca del cielo (De Caelo) y Meteorológicos**. Madrid: Gredos, Biblioteca clásica Nº 229, 1996.

DIELS, Hermann; KRANZ, Walther. **Die Fragmente der Vorsokratiker**. Berlin: Weidmannsche Verlagsbuchhandlung, 1952.

HIGINO, Cayo Julio. **Fabulas - Astronomía**. Edición de Guadalupe Morcillo Expósito, Madrid: Akal, 2008.

KAHN, Charles H. **Anaximander and the Origins of Greek Cosmology**. New York: Columbia University Press, 1960.

LUCRECIO. **De la naturaleza de las cosas**. Traducción de Abate Marchena. Barcelona: Altaya, 1997.

PLATÓN. **Gorgias**. Buenos Aires: Aguilar, 1980. Traducción de Francisco García Yagüe.

PLINIO EL VIEJO. **Historia natural**. Madrid: Gredos, 1995. Tradução e notas de Antonio Fontán, Ana María Moure Casas e outros.

PLINI SECUNDI. **Naturalis historia**. Edidit Karl Friedrich, Theodor Mayhoff, Lipsiae: Teubner, 1906.

STEELE, J. M. Eclipse Prediction in Mesopotamia. **Archive for the History of Exact Sciences**, v. 54, 2000, p. 421-454.

VV. AA. **Los filósofos presocráticos**. Tomo III, Madrid, Gredos: traducción de A. Poratti, C. Eggers Lan, M. I. Santa Cruz de Prunes y N. L. Cordero, 1997.

VV. AA. **Los filósofos presocráticos**. Tomo I, Madrid, Gredos, traducción de C. Eggers Lan y V. E. Juliá, 2000.