

AS FASES DA LUA NUMA CAIXA DE PAPELÃO

*Maria de Fátima O. Saraiva^{1,2}
Cláudio B. Amador¹
Érico Kemper¹
Paulo Goulart¹
Angela Muller¹*

Resumo: Neste trabalho propomos a construção de material didático de baixo custo para demonstração do conceito de fases de um corpo iluminado. O principal objetivo de nosso material é facilitar a compreensão das fases da Lua da perspectiva de um observador na Terra. O material ajuda na visualização de dois efeitos importantes: (1º) mesmo tendo sempre a metade da "Lua" (representada por uma bolinha de isopor ou de ping-pong) iluminada pelo "Sol" (representado por uma fonte de luz natural ou artificial), nós vemos diferentes frações de sua superfície iluminada, dependendo do ângulo pelo qual a olhamos; (2º) a orientação da borda convexa da Lua nas fases Crescente e Minguante também depende da perspectiva pela qual a olhamos da Terra. O uso de uma caixa fechada permite observar o contraste entre as diferentes fases sem necessidade de estar em uma sala escurecida. Apresentamos também um texto explicativo sobre fases da Lua, enfatizando a dependência da aparência da parte iluminada com o ângulo de visada.

Palavras-chave: ensino de astronomia, material didático, fases da Lua.

LAS FASES DE LA LUNA EN UNA CAJA DE CARTÓN

Resumen: En este trabajo proponemos la construcción de material didáctico de bajo costo para demostración del concepto de fases de un cuerpo iluminado. El principal objetivo de nuestro material es facilitar la comprensión de las fases de la Luna desde la perspectiva de un observador en la Tierra. El material ayuda la visualización de dos efectos importantes: (1º) a pesar de tener siempre la mitad de la Luna (representada por una bolita de espuma plástica o de ping-pong), iluminada por el Sol (representado por una fuente de luz natural o artificial), vemos diferentes fracciones de su superficie iluminada, dependiendo del ángulo por el cual la vemos; (2º) la orientación del borde convexo de la Luna en las fases Creciente y Menguante también depende de la perspectiva por la cual la miramos desde la Tierra. El uso de una caja cerrada permite observar el contraste entre las diferentes fases sin necesidad de estar en un recinto oscuro. Presentamos también un texto explicativo sobre las fases de la Luna, enfatizando la dependencia de la apariencia de la parte iluminada con el ángulo de visión.

Palabras clave: enseñanza de astronomia, material didáctico, fases de la Luna.

THE MOON PHASES IN A PAPER BOX

Abstract: We present a very simple concrete model to demonstrate the concept of phases of an illuminated body. The main objective of our model is to help the understanding of the Moon phases as viewed from the perspective of an observer on Earth. The material allows the visualization of two important effects: (1st) even though all the time half Moon is illuminated by the Sun, we see different fractions of the illuminated Moon surface, depending on our angle of sight; (2nd) the orientation of the convex part of the Moon in the crescent and waning phases on the sky also depends on our perspective from Earth. The use of a closed box allows one to see the contrast among the different phases with no need of a dark room. We also present a text on the Moon phases, emphasizing the dependence of the aspect of the bright part on the angle of sight.

Keywords: astronomy teaching, didactic material, Moon phases.

¹ Mestrado Profissional em Ensino de Física, Instituto de Física, UFRGS - Porto Alegre, RS.

² Departamento de Astronomia, Instituto de Física, UFRGS - Porto Alegre, RS, e-mail - fatima@if.ufrgs.br

1. Introdução

As fases da Lua constituem um dos fenômenos astronômicos mais familiares à maioria das pessoas, mas nem por isso são bem compreendidas. Um tipo de confusão conceitual comumente encontrada mesmo entre estudantes universitários (Comins 2001, citado por Kavanagh, Agan e Sneider 2005, Pedrochi e Neves 2005) e professores de Ciências (Leite 2005, citado por Langhi 2005) é a crença de elas são causadas pela sombra da Terra. Em geral a explicação do fenômeno consiste de duas partes: a primeira envolve apenas a iluminação da Terra e da Lua pela luz solar, independentemente da posição do observador; a segunda parte envolve a visualização da face iluminada da Lua por um observador na Terra. Como observa Camino (1995), a explicação da primeira parte não oferece dificuldade; é a nossa perspectiva geocêntrica que complica o fenômeno. A elaboração de materiais didáticos que permitam substituir o exercício da abstração pela visualização de um modelo concreto pode ser um auxiliar importante na aprendizagem. Além de facilitar a compreensão do assunto, a manipulação, pelo aluno, de modelos elaborados para tentar descrever o comportamento da natureza, estimula-o a envolver-se mais com o assunto e a portar-se de maneira mais ativa na construção de seu próprio conhecimento. Um dos materiais instrucionais mais utilizados para ensinar as fases da Lua e as estações do ano é a maquete do sistema solar; esse material, embora seja excelente para auxiliar na compreensão do fenômeno da perspectiva de um observador externo, não é completo, pois não permite reproduzir as fases como o observador na Terra as percebe.

Neste trabalho propomos um experimento de construção muito simples e barato, imaginado para ser usado em complemento à maquete anteriormente citada, se disponível, com a finalidade específica de mostrar como as fases da Lua estão relacionadas à posição relativa entre a Terra, a Lua e o Sol. Embora outros tipos de materiais instrucionais de baixo custo já tenham sido propostos anteriormente com o mesmo objetivo (eg. Canalle 1997, Mees 2005) nosso material tem a vantagem de permitir visualizar com maior contraste as diferentes fases, sem necessidade de estar em ambiente escurecido, o que muitas vezes é impraticável em uma sala de aula. O trabalho foi desenvolvido como uma das atividades propostas na disciplina de Ensino de Astronomia (MEF008) do curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (IF/UFRGS), no semestre 2006/1.

Na seção 2 apresentamos um texto explicativo sobre as fases da Lua, abordando as definições das fases em si e a razão de porque a Lua Crescente e a Lua Minguante aparecem "invertidas" nos hemisférios norte e sul; na seção 3 explicamos como construir o material didático e mostramos alguns exemplos e na seção 4 concluímos com alguns comentários sobre o uso do material.

2. As fases da Lua

A Lua é certamente o objeto mais admirado do céu noturno. O fascínio que ela desperta nas pessoas talvez esteja associado à sua aparente inconstância³ (Pinheiro 2005) pois, a cada dia, porções diferentes de sua face visível são gradualmente iluminadas e vistas por nós. Ao aspecto da face iluminada da Lua quando vista da Terra

³ Um exemplo da associação de "inconstância" à Lua está no romance "Romeu e Julieta", de William Shakespeare, onde a heroína pede ao amado que "Não jures pela Lua, essa inconstante..." (Mores 2006).

chamamos de "fase" (Boczko 1984). O ciclo de fases, comumente chamado de "lunação", dura aproximadamente 29,5 dias⁴.

É interessante notar que, apesar de a Lua apresentar muitas *fases* ela mostra para nós sempre a mesma *face*, ou seja, vemos praticamente⁵ a mesma metade da superfície lunar o tempo todo; a outra metade está sempre voltada para o lado oposto ao da Terra. Isso se deve a que a Lua dá uma volta completa em torno do próprio eixo de rotação no mesmo tempo em que dá uma volta completa em torno da Terra, ou seja, a rotação da Lua em torno de seu próprio eixo é sincronizada com a revolução em torno da Terra. Essa sincronização foi causada pelas marés no sistema Terra-Lua (Oliveira Filho e Saraiva 2004, Ferraz-Mello e Klafke 2000).

A explicação das fases da Lua é bem conhecida desde a antiguidade, conforme é evidenciado pelos registros de Aristóteles, que viveu nos anos 384-322 a.C. (Berry 1961): elas resultam do fato de que a Lua não é um corpo luminoso, e sim um corpo *iluminado* pela luz do Sol. À medida que a Lua orbita a Terra, ela mantém sempre metade de sua superfície voltada para o Sol (a face iluminada), e a outra metade voltada na direção oposta (a face que fica escura). A *fase da Lua* é determinada pela porção da face iluminada que está voltada também para a Terra (a face visível). Durante metade do ciclo essa porção está aumentando (Lua Crescente) e durante a outra metade ela está diminuindo (Lua Minguante). Tradicionalmente, apenas as quatro fases mais características do ciclo - Nova, Quarto Crescente, Cheia e Quarto Minguante - recebem nomes, mas a porção da Lua que vemos iluminada, que é a sua fase, varia de dia para dia. Por essa razão, os astrônomos definem a fase da Lua em termos de número de dias decorridos desde a Lua Nova (de 0 a 29,5) e em termos de fração iluminada da face visível (0% a 100%).

⁴ Esse ciclo tem duração um pouquinho maior do que o período orbital da Lua em torno do Terra, de aproximadamente 27,3 dias.

⁵ Existe um conjunto de efeitos, chamados "librações", que fazem com que o hemisfério lunar voltado para a Terra pareça oscilar ligeiramente, para a frente e para trás, à medida que a Lua orbita a Terra. Em consequência desse movimento, 59% da superfície lunar pode ser observada da Terra olhando em diferentes datas do mês, embora apenas 50% dessa superfície seja visível de cada vez (Mitton 1991, Bennet et al. 2002).

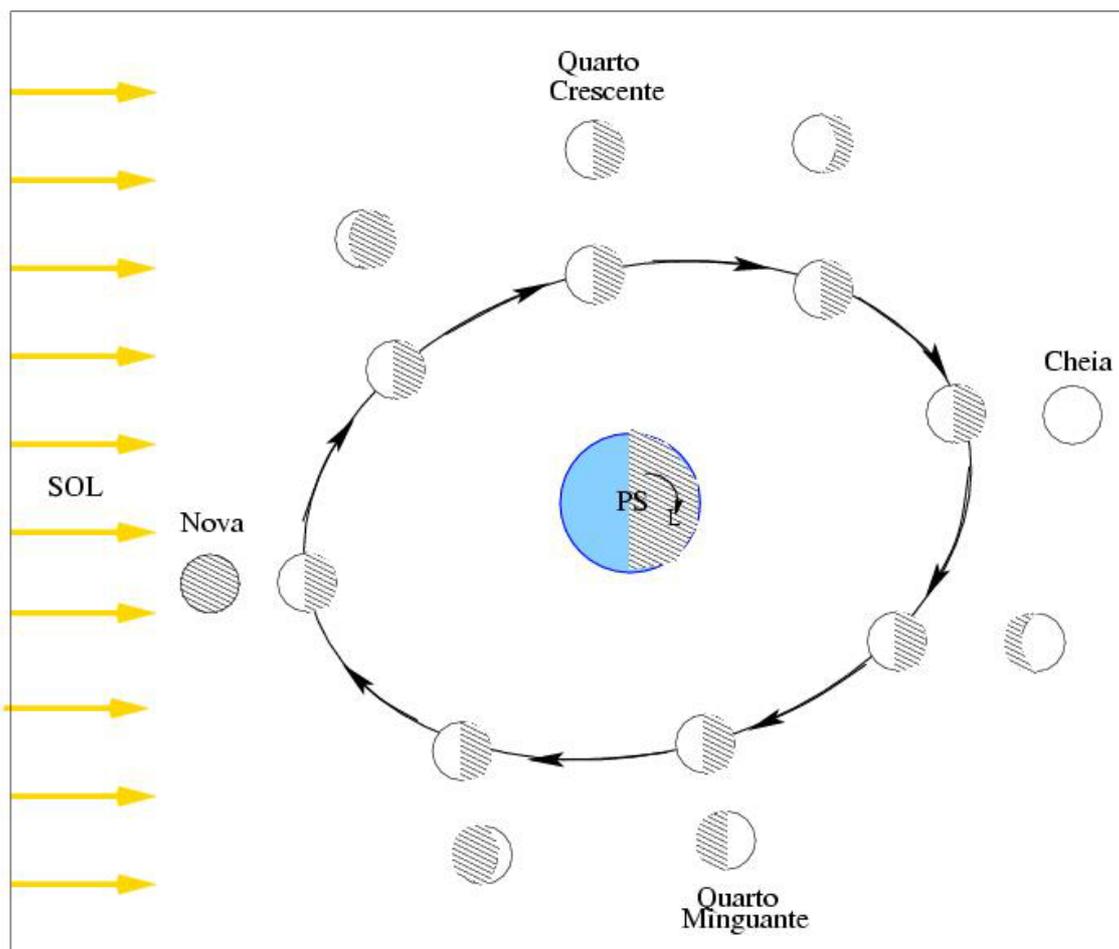


Figura 1. Fases da Lua: ao longo da elipse, está representada a separação entre a parte escura e a parte iluminada da Lua em diferentes posições de sua órbita, como visualizada por um observador externo olhando diretamente para o Pólo Sul da Terra; as figuras externas à elipse representam as aparências da Lua correspondentes a essas posições, do ponto de vista de um observador no hemisfério sul da Terra. A direção dos raios solares (que, por simplicidade, foram desenhados no mesmo plano do equador da Terra) é indicada pelas setas amarelas

A **Lua Nova** acontece quando a face visível da Lua não recebe luz do Sol, pois os dois astros estão na mesma direção, e a face iluminada está oposta à Terra. Nesse dia⁶, a Lua nasce e se põe aproximadamente junto com o Sol. No dia seguinte a Lua inicia a fase Crescente, ficando cada vez mais a leste do Sol, e portanto "atrasando-se" cada vez mais em relação a ele. Ela aparece mais brilhante no início da noite, no lado oeste do céu, como um arco luminoso⁷ com a borda convexa (a borda externa do arco) voltada para o oeste. Esse arco vai ficando a cada dia mais largo, até que, aproximadamente 1 semana⁸ depois, assume a forma de meio-disco, com 50% da face iluminada voltada

⁶ Na verdade, a Lua Nova não dura um dia inteiro, pois trata-se de um evento momentâneo, com horário definido, o qual podemos presenciar ou não; no entanto, como a variação da fase não é muito grande em um intervalo de 24 horas, em geral se fala no "dia da Lua Nova" em vez de "instante da Lua Nova". A mesma observação vale para as demais fases.

⁷ Nos primeiros dias da Lua Crescente, quando ela é visível no horizonte ao pôr do Sol, como um Crescente fino, é possível ver todo o disco lunar brilhando fracamente entre as "cuias" do crescente. A iluminação da Lua se dá pela luz solar refletida pela Terra, conforme foi explicado por Leonardo da Vinci, no século XVI (Berry 1961, NASA 2005).

⁸ Devido à elipticidade da órbita da Lua em torno da Terra, o número de dias entre duas fases "principais" (Nova, Quarto Crescente, Cheia e Quarto Minguante) é de 7,38 em média, mas varia entre aproximadamente 6,5 e 8,3 dias (Silveira 2001).

para a Terra - é o **Quarto Crescente**⁹. Nesse dia, toda a metade oeste¹⁰ da face visível da Lua está iluminada, ou seja, o semi-círculo lunar tem a borda curva voltada para o oeste. Lua e Sol, vistos da Terra, estão separados de aproximadamente 90°. A Lua nasce aproximadamente ao meio-dia e se põe aproximadamente à meia-noite. Após esse dia, a fração iluminada da face visível continua a crescer de oeste para leste, pois a Lua continua a leste do Sol, até assumir a forma de um disco completo- a **Lua Cheia**, quando 100% da face visível está iluminada. Nessa fase, a Lua está acima do horizonte durante toda a noite, nasce quando o Sol se põe e se põe ao nascer do Sol. Lua e Sol, vistos da Terra, estão em direções opostas, separados de aproximadamente 180°. A partir desse dia, a Lua entra em fase Minguante, quando começa novamente a se mover aparentemente em direção ao Sol, pelo lado oeste, nascendo e se pondo antes dele; a borda oeste do disco lunar vai ficando cada vez mais retraída e, aproximadamente 7 dias depois, a fração iluminada já se reduziu novamente a 50%, atingindo o **Quarto Minguante**. Nesse dia, a Lua está aproximadamente 90° a oeste do Sol, e vemos iluminada toda a metade leste de sua face visível, isto é, o semi-círculo agora tem a borda curva voltada para o leste. A Lua nasce aproximadamente à meia-noite e se põe aproximadamente ao meio-dia. Nos dias subsequentes a Lua continua a minguar, até atingir o dia 0 do novo ciclo.

2.1 A forma aparente da Lua nas fases Crescente e Minguante em diferentes locais da Terra

É comum, no hemisfério sul, representarmos a fase Quarto Crescente por um disco com a metade esquerda iluminada (lembrando a letra C) e a fase Quarto Minguante por um disco com a metade direita iluminada (lembrando a letra D). No hemisfério norte se faz o inverso: a Lua Quarto Crescente é representada por uma figura lembrando a letra D e a Lua Quarto Minguante é representada por uma figura lembrando a letra C. Isso gera, em muitas pessoas, a idéia de que o lado iluminado da Lua muda de um hemisfério ao outro, o que não é verdade: entre as fases Nova e Cheia, a Lua sempre vai "crescendo" a partir do lado oeste, e entre as fases Cheia e Nova ela vai "minguando" a partir do lado leste, independentemente de estarmos no hemisfério norte ou sul da Terra. O que depende da nossa localização na Terra é se o lado leste da Lua é o que vemos como seu lado esquerdo, ou direito, ou de cima, ou de baixo.

A trajetória diurna da Lua no céu, assim como de qualquer astro, depende da declinação¹¹ do astro e da latitude do lugar. Como a declinação da Lua varia ao longo do mês, de uma distância máxima ao norte do equador celeste a uma distância máxima ao sul do equador celeste, em um intervalo de aproximadamente 13,5 dias, sua trajetória aparente no céu também varia (ver figura 2). Na seção 2.2 veremos com mais detalhe por que isso acontece.

⁹ O uso da palavra "quarto" designando quando vemos exatamente metade da face visível é atribuído tanto ao fato de que nessas fases a Lua está em posição de 1/4 ou 3/4 do ciclo lunar (Zeilik 1982), como ao fato de que nessas fases estamos vendo apenas 1/4 da superfície total da Lua (CDA 2004).

¹⁰ Aqui estamos chamando de lado oeste da Lua o lado que está voltado para o horizonte oeste local, e lado leste da Lua o lado voltado para o horizonte leste local. Note que essa não é a convenção adotada nas cartas selenográficas, usadas para mapear o relevo da superfície lunar (ver, por exemplo, a Carta Lunar em <http://www.lpi.usra.edu/resources/mapcatalog/LC1/>). Nessas cartas, o lado da Lua que vemos voltado para o horizonte oeste é definido como leste selenográfico, e o lado que vemos voltado para o horizonte leste é definido como oeste selenográfico. Uma explicação mais detalhada pode ser encontrada em <http://www.astrosurf.com/astronosur/luna.htm>.

¹¹ A declinação de um astro é uma coordenada medida na esfera celeste análoga à latitude medida na Terra. É definida como o ângulo, medido sobre o círculo perpendicular ao equador celeste, entre o equador e o astro.

Em lugares de latitude norte acima de 29° , a trajetória aparente da Lua no céu, durante o dia, é um círculo com uma inclinação para o sul, em relação à vertical, tal que, no topo da trajetória (na passagem meridiana) ela está sempre ao sul do zênite¹² [ver figura 2(a)]. Um observador que se volte para o sul para olhar a Lua, tendo o oeste à direita e o leste à esquerda, verá a Lua Quarto Crescente (que está mais alta no céu ao pôr do Sol) com a metade direita do disco iluminado (figura 3(a)) e verá a Lua Quarto Minguante (que está mais alta no céu ao nascer do Sol) com a metade esquerda do disco iluminado (figura 3(b)).

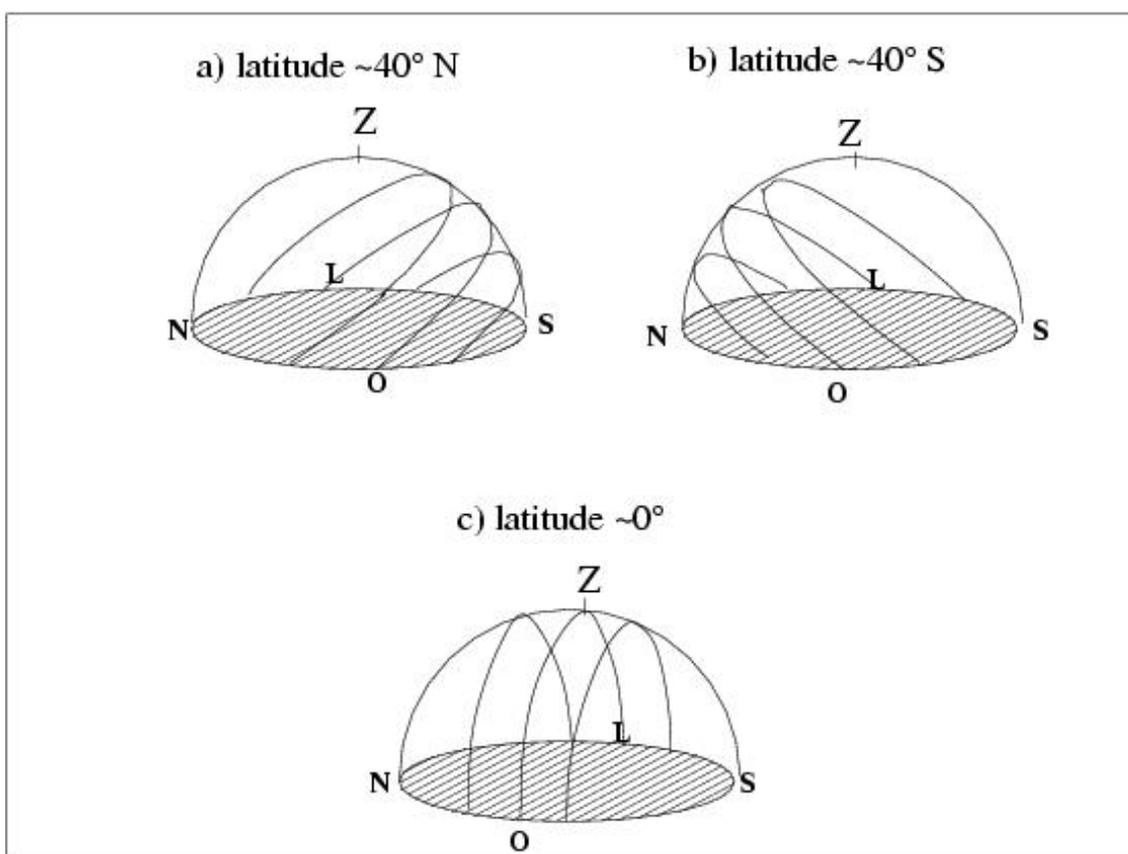


Figura 2 Círculos diurnos da Lua em três dias diferentes do mês (três diferentes declinações da Lua). São mostradas as orientações dos círculos diurnos em relação ao horizonte em latitudes de, aproximadamente, 40°N (a), 40°S (b) e 0° (c). Em cada figura, o círculo central coincide com o equador celeste, correspondendo ao círculo diurno da Lua nos dois dias do mês em que ela está no equador celeste. Os círculos extremos correspondem aos círculos diurnos nos dias em que ela está em máximo afastamento do equador, para o norte e para o sul. O zênite do lugar está indicado pela letra Z.

Em todos os lugares de latitude sul acima de 29° acontece o contrário: a trajetória da lua no céu é um círculo inclinado para o norte, de forma que a passagem meridiana sempre se dá ao norte do zênite [ver figura 2(b)], portanto para vê-la no instante em que está mais alta no céu as pessoas se voltam para o norte, ficando com o leste à direita e o oeste à esquerda. Nesse caso, quando a metade oeste do disco lunar aparece iluminado (Quarto Crescente), ela fica voltada para a esquerda (figura 3(c)), e quando a metade leste está iluminada (Quarto Minguante) ela fica voltada para a direita (figura 3(d)).

¹² Zênite é o ponto da abóboda celeste que fica acima da cabeça do observador.

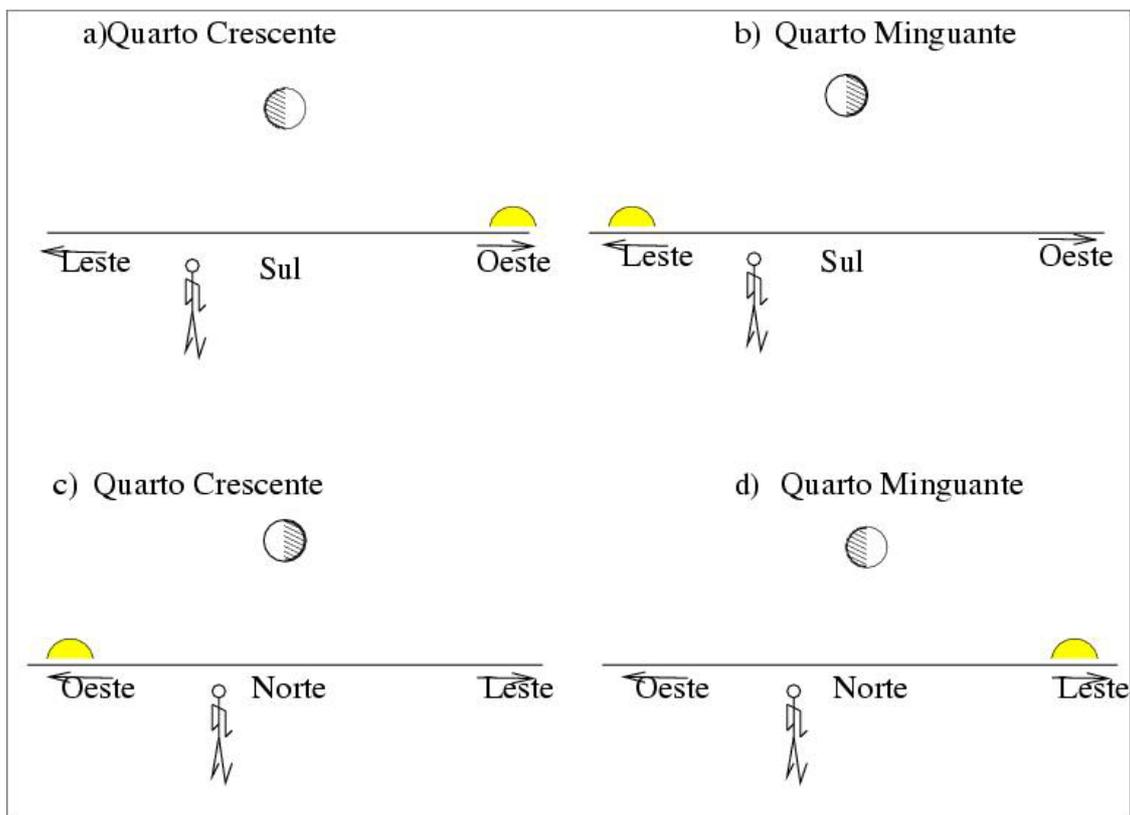


Figura 3 Figura esquemática mostrando como a orientação aparente da Lua, nas fases de Quarto Crescente e Quarto Minguante, depende de se a Lua faz a passagem meridiana ao sul ou ao norte do zênite do lugar, o que determina se o observador deve se voltar para o sul ou para o norte para vê-la. (a) Lua Quarto Crescente, que faz a passagem meridiana num instante próximo ao do pôr do Sol, como vista por um observador voltado para o sul; (b) Lua Quarto Minguante, que faz a passagem meridiana num instante próximo ao do nascer do Sol, como vista por um observador voltado para o sul; (c) Lua Quarto Crescente, como vista por um observador voltado para o norte; (d) Lua Quarto Minguante, como vista por um observador voltado para o norte.

Nos lugares da Terra com latitudes entre 29°N e 29°S a trajetória diurna da Lua no céu é quase perpendicular ao horizonte [ver figura 2(c)], e a Lua faz sua passagem meridiana muito perto do zênite, podendo passar tanto ao norte quanto ao sul dele. Nessas latitudes, os desenhos usados convencionalmente nos calendários locais para representar as fases da Lua podem diferir bastante da forma realmente observada para o astro, pois a linha de separação entre a parte clara e escura da Lua assume diferentes orientações em pois a Lua entre Nova e Quarto Crescente, por exemplo, pode aparentar formas lembrando um "C", ou um "D", ou, mais freqüentemente, em latitudes próximas ao equador, um "U" em posição direita ou invertida, dependendo da trajetória diurna que ela faz no céu e do instante em que a observamos. As fotos mostradas no calendário lunar do CDCC-USP (2007) ilustram bem esse fato.

A figura 4 representa a aparência típica da Lua, em uma fase entre Nova e Quarto Crescente, para observadores voltados para o oeste, em três latitudes diferentes: aproximadamente 40°S , aproximadamente 40°N e 0° (equador). Por simplicidade, a Lua e o Sol foram representados numa situação em que ambos se encontram no equador celeste¹³. Em cada figura, a linha horizontal representa o horizonte e a linha vertical representa o plano perpendicular a ele. O equador celeste (representado pela reta na qual

¹³ Equador celeste é a projeção, na abóbada celeste, do equador geográfico.

foram desenhados o Sol e a Lua) tem uma inclinação, em relação à vertical, igual à latitude do lugar. Não é difícil imaginar, pelas situações apresentadas, que, quanto maior a latitude, mais inclinado para a direção norte (se for latitude sul) ou para a direção sul (se for latitude norte) se encontrará o equador celeste, e o arco brilhante da Lua Crescente ficará cada vez mais "em pé" em relação ao horizonte, lembrando mais a letra "C", se a latitude for sul, ou "D", se for norte.

As figuras 5 e 6 representam a aparência típica da Lua aproximadamente três semanas mais tarde, (ou uma semana antes), quando estiver em fase entre Quarto Minguante e Nova, para observadores nas mesmas latitudes da figura 4, nos casos de observarem a Lua quando ela estiver a oeste (figura 5) e a leste (figura 6).

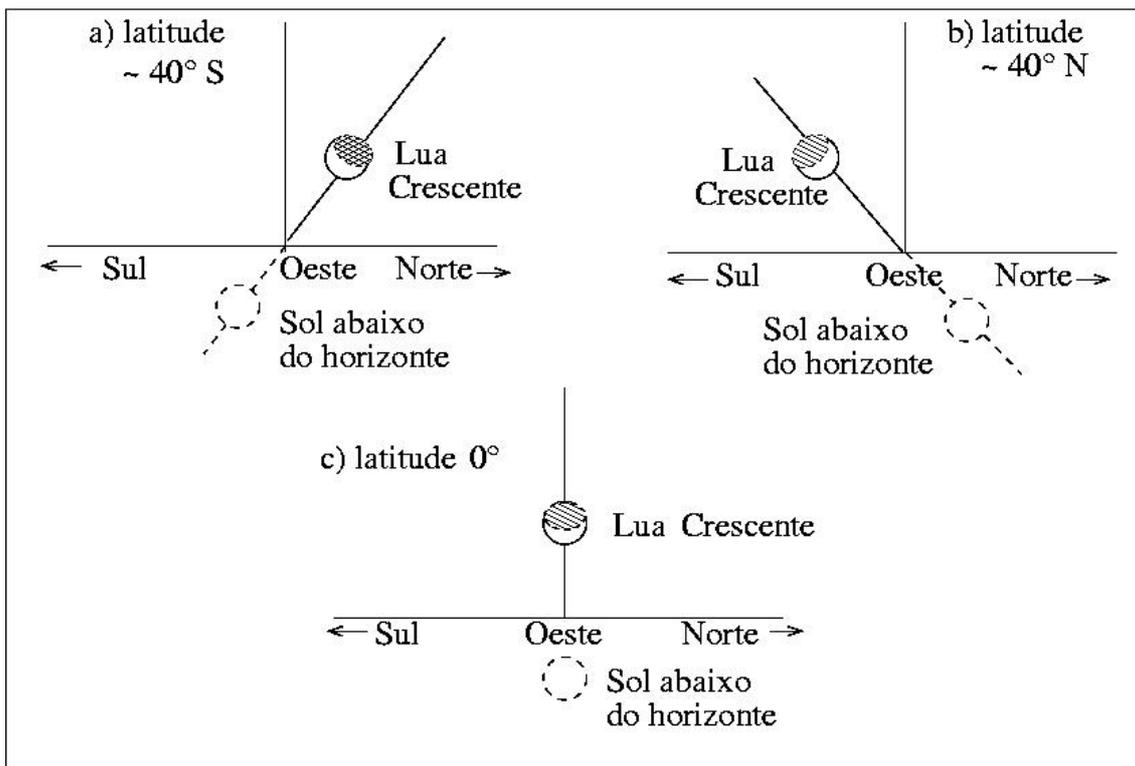


Figura 4. Figura esquemática representando a aparência típica da Lua, em uma fase entre Nova e Quarto Crescente (por simplicidade indicada como "Lua Crescente"), num instante em que se encontra no lado oeste do céu (acima do horizonte oeste), em três latitudes diferentes: (a) aproximadamente 40°S, (b) aproximadamente 40°N e (c) 0°(equador). Note como a porção iluminada da Lua está voltada para a direção do Sol, que está a oeste da Lua.

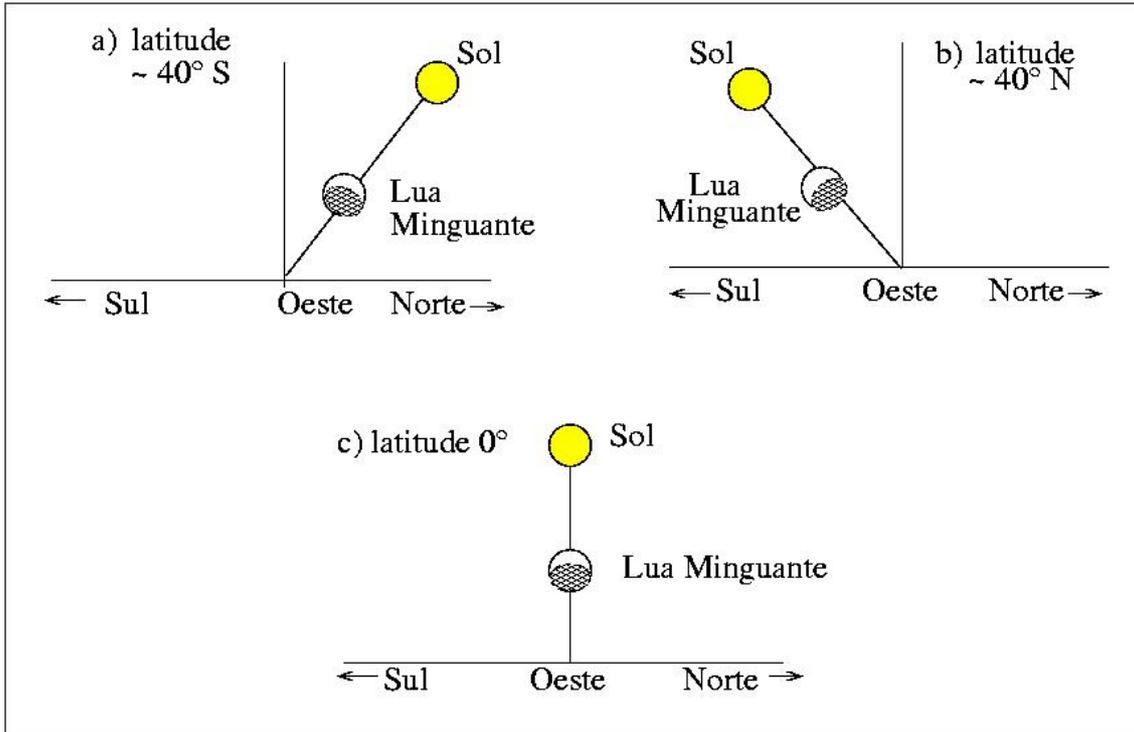


Figura 5. Figura esquemática representando a aparência típica da Lua, em uma fase entre Quarto Minguante e Nova (por simplicidade indicada como "Lua Minguante"), num instante em que se encontra acima do horizonte oeste, em três latitudes diferentes: (a) aproximadamente 40° S, (b) aproximadamente 40° N e (c) 0° (equador). Note que a porção iluminada da Lua está voltada para a direção do Sol, que agora está a leste da Lua.

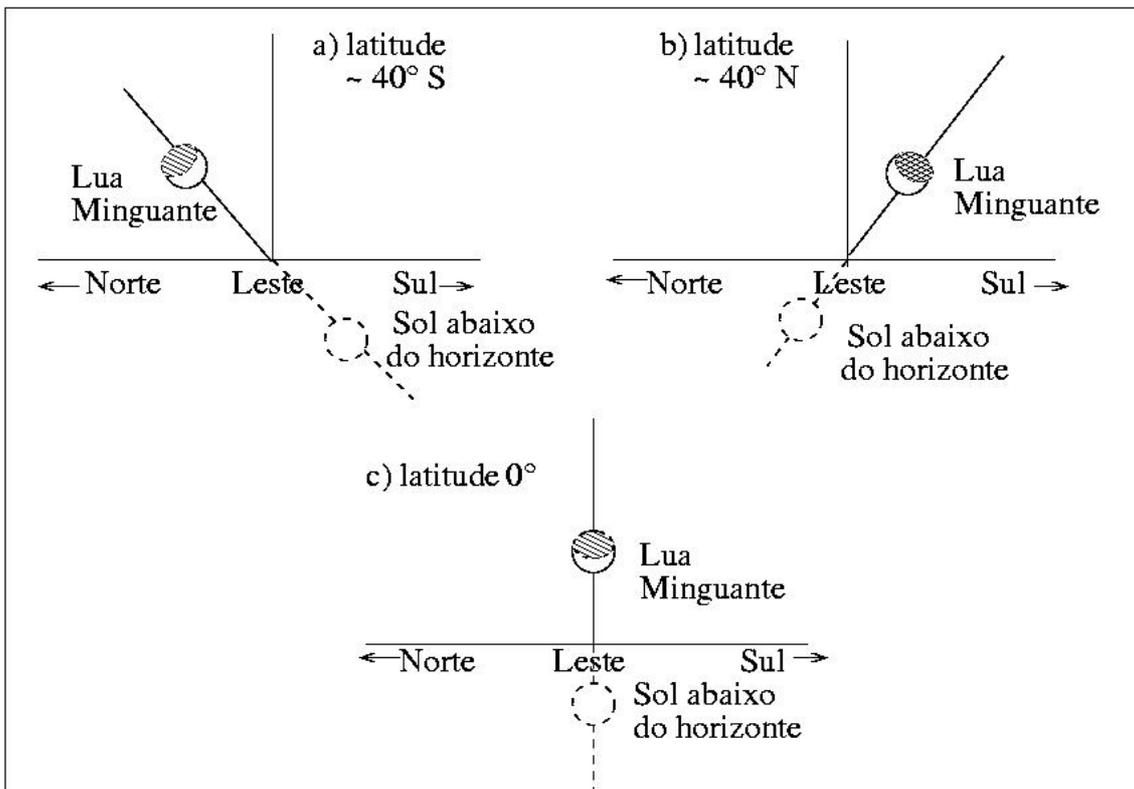


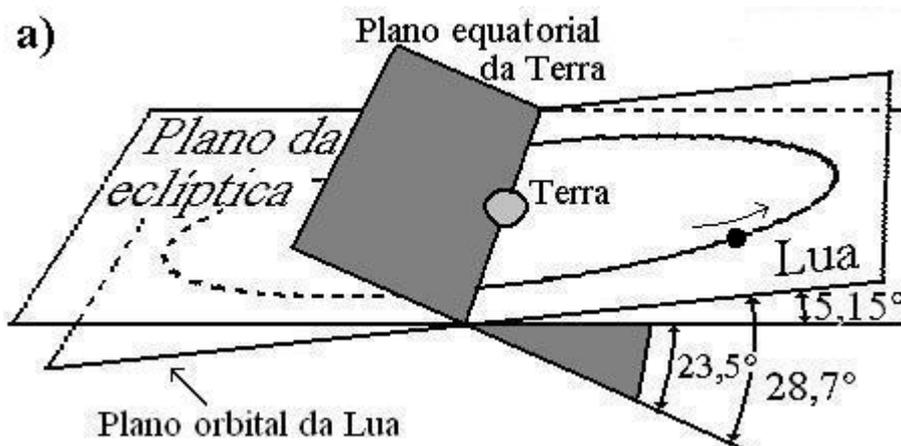
Figura 6. Figura esquemática representando a aparência típica da Lua, em uma fase entre Quarto Minguante e Nova (por simplicidade indicada como "Lua Minguante"), vista por um observador voltado para o leste.

para o leste, antes do nascer do Sol, em três latitudes diferentes: (a) aproximadamente 40° S, (b) aproximadamente 40° N e (c) 0° (equador).

2.2 Variações na declinação da Lua

Se o plano orbital da Lua coincidisse com a eclíptica, a variação da declinação da Lua durante o mês seria igual à variação da declinação do Sol durante o ano, ou seja, de $-23^\circ 27'$ a $+23^\circ 27'$. Sabemos que, se fosse assim, teríamos eclipses a cada Lua Nova e a cada Lua Cheia, pois a Lua e o Sol estariam na mesma direção e no mesmo plano.

No entanto, o plano orbital da Lua em torno da Terra tem uma inclinação de $i = 5^\circ 8'$ em relação à eclíptica. Apesar desse ângulo permanecer aproximadamente constante¹⁴, o plano orbital não é fixo, movendo-se de maneira que a linha de interseção entre os dois planos (linha dos nodos) executa uma volta completa em um período de 18,6 anos. Portanto, em relação ao equador da Terra, a órbita da Lua tem uma inclinação que varia de $23^\circ 27' + i$ a $23^\circ 27' - i$ (Krasavtev e Khlyustin 1970), ou de $18^\circ 19' (23^\circ 27' - 5^\circ 8')$ a $28^\circ 35' (23^\circ 27' + 5^\circ 8')$ (ver figura 7). Atualmente (início de 2007) o ângulo entre o plano orbital da Lua e o equador da Terra é máximo, ou seja, próximo de $28,5^\circ$, e portanto, a declinação da Lua, ao longo do mês, varia entre os limites aproximados de $[-28,5^\circ, +28,5^\circ]$ (ON-DAED). Há 9 anos atrás, esse ângulo estava no seu valor mínimo, 18° , e a declinação da Lua ao longo do mês variava menos, entre os limites $[+18,4^\circ, -18,4^\circ]$ (Espenak 1999).



¹⁴ O ângulo de inclinação i entre o plano orbital da Lua e o plano orbital da Terra sofre oscilações periódicas de $4^\circ 59'$ a $5^\circ 17'$ (Krasavtev e Khlyustin 1970).

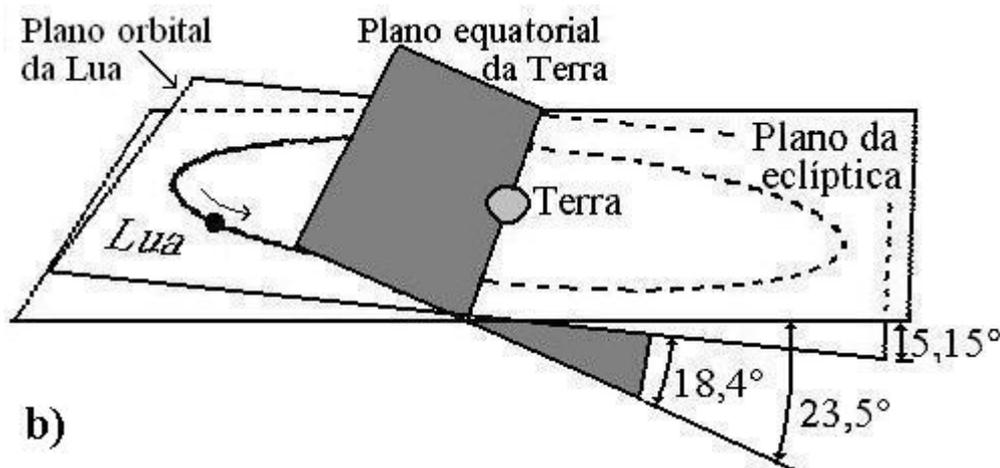


Figura 7. Variação das coordenadas lunares devido ao movimento da linha dos nodos. Em (a) está representado o caso em que a inclinação da órbita da Lua em relação ao equador terrestre é máxima ($23,5^\circ + 5,15^\circ$) e em (b) está representado o caso em que essa inclinação é mínima ($23,5^\circ - 5,15^\circ$). Estas figuras foram baseadas em outras mostradas no site <http://www.lettras.up.pt/geograf/seminario/Aula4.htm>.

3. O material didático

A idéia do experimento é mostrar como a Lua, tendo sempre metade de sua superfície iluminada pelo Sol e a outra metade escura (como mostram as imagens ao longo da elipse na figura 1), ao ser observada da Terra, aparece com diferentes porções iluminadas (como mostram as imagens externas à elipse na mesma figura).

3.1 Material básico

1. Uma caixa de papelão do tamanho de uma caixa de sapatos ou maior;
2. Bola de isopor de aproximadamente 2cm de diâmetro ou bolinha de ping-pong para simular a Lua;
3. Fonte de luz (lanterna, lâmpada de baixa potência ou luz natural) para simular o Sol.

3.2 Montagem e utilização

No centro de uma das laterais da caixa, abre-se um orifício de tamanho suficiente para encaixar uma lanterna ou lâmpada de baixa potência¹⁵. Orifícios menores, de aproximadamente 0,8 cm de diâmetro, serão feitos em posição deslocada do centro, na lateral em que foi acoplada a lanterna ou lâmpada, e em posição central em cada uma das demais laterais. Esses orifícios pequenos são as "janelas" através das quais se visualizará o interior da caixa. Convém identificá-los por letras diferentes, de maneira a poder se referir a cada orifício de maneira mais clara. Uma variação possível é substituir a lâmpada ou lanterna por luz natural, fazendo o orifício que serve de fonte de luz grande o suficiente (diâmetro de até o dobro do diâmetro da bolinha que representa a Lua). Nesse caso não há necessidade de abrir o orifício menor ao lado dele, pois ele serve também para visualização da bolinha a partir desse lado da caixa. As paredes

¹⁵ Convém lembrar que, se for usada uma lâmpada forte demais, existe o risco de queimar a caixa de papelão ou aquecer demais a tinta da caixa, liberando gases tóxicos; mesmo com baixa potência, a lâmpada precisa ter um suporte adequado para o soquete, que afaste suficientemente a lâmpada do papelão.

internas da caixa devem ser pintadas de preto para evitar a reflexão e realçar a visualização da "Lua". A bolinha representando a Lua deve ser fixada, através de um fio de linha preso ao topo da caixa ou através de um suporte preso à base da mesma, à altura dos orifícios pequenos. A figura 8 apresenta um desenho esquemático do modelo, e as figuras 9, 10, 11 e 12 mostram exemplos dos 4 tipos diferentes de modelos construídos pelos alunos-professores da turma de MEF008, assim como as diferentes "fases" visualizadas dentro das caixas.

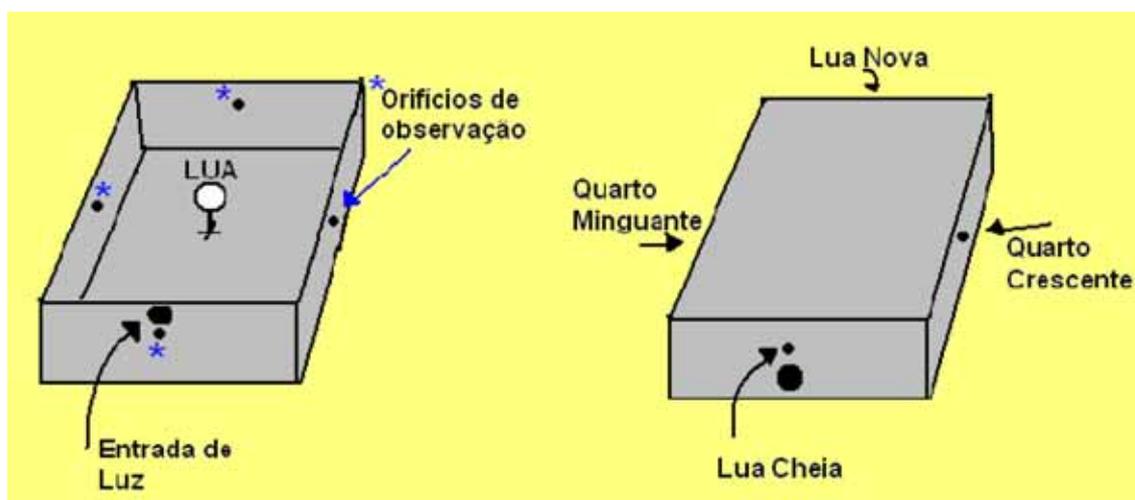


Figura 8. Um esquema da caixa.

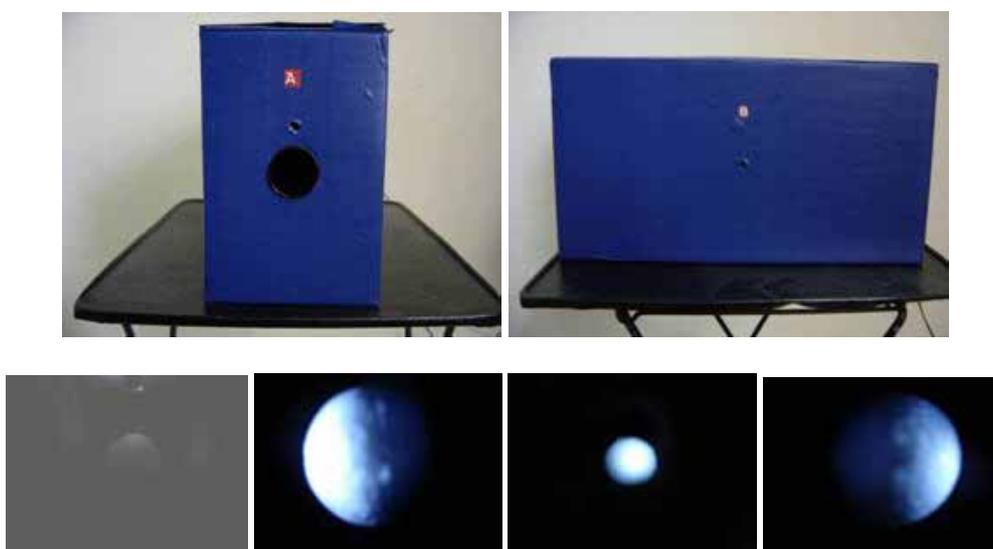


Figura 9. Modelo utilizando uma caixa retangular e uma lanterna. Os painéis superiores mostram duas laterais da caixa: a da esquerda mostra o orifício grande para acoplar a lanterna e o orifício pequeno para visualização da bolinha; a da direita só tem o orifício para visualização da bolinha. Os painéis inferiores mostram imagens da bolinha vistas a partir de quatro diferentes orifícios, simulando as quatro fases mais características. A "Lua" aparece menor nas fases Nova e Cheia devido ao fato da bolinha ficar mais próxima das laterais perpendiculares ao fecho da luz do que das laterais alinhadas com ele.

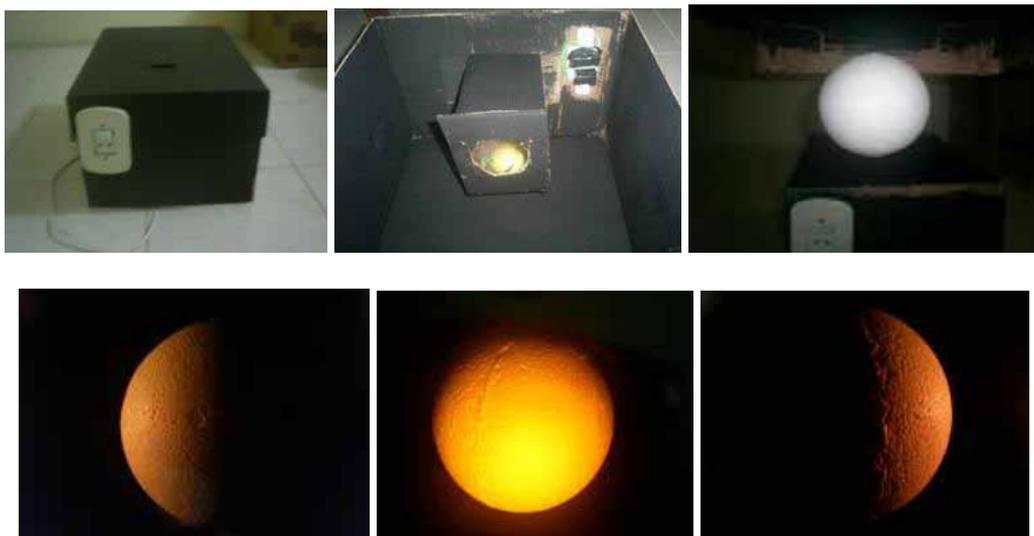


Figura 10. Modelo de uma caixa em que foi usada uma lâmpada incandescente de 15 W ligada à rede elétrica, acionada por um interruptor (painel superior esquerdo). O suporte da lâmpada é de porcelana, e possui um furo bem no centro, pelo qual foi passado o parafuso para prendê-lo à caixa. A lâmpada e o suporte foram envolvidos por uma armação de papelão (painel superior central), internamente revestida de papel alumínio e externamente pintada de preto, visando direcionar o foco da luz. Por segurança, a distância da lâmpada às paredes laterais da armação não deve ser inferior a 2 cm. A bolinha é presa por um fio à tampa da caixa (painel superior direito). Os painéis inferiores mostram imagens da bolinha visualizada através de 3 orifícios diferentes, simulando a Lua nas fases Crescente, Cheia e Minguante.



Figura 11. Um modelo de caixa em que é usado um orifício maior para entrada de luz natural para simular o Sol. No painel superior vemos uma foto da caixa aberta, mostrando a bolinha presa por um palito ao fundo da caixa. Os painéis inferiores mostram imagens da bolinha em fases “Nova”, “Crescente”, “Cheia” e “Minguante”.

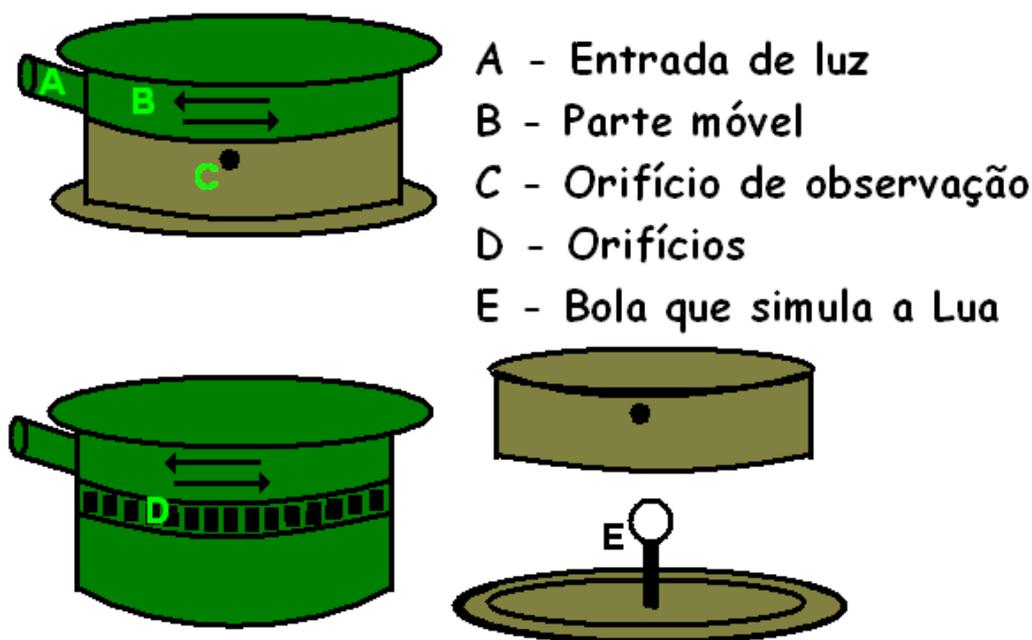


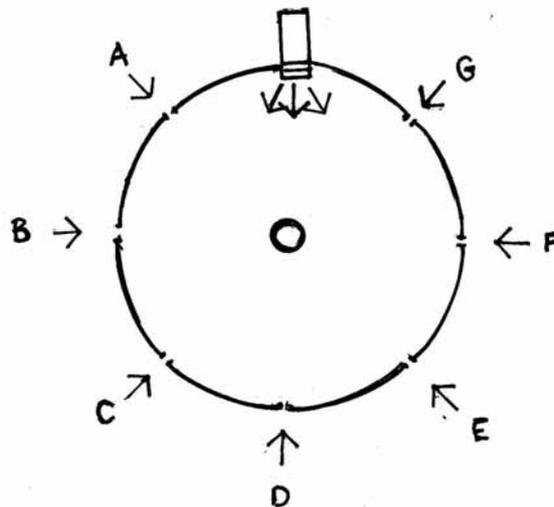
Figura 12. Uma variação do experimento, que permite uma melhor visualização das fases intermediárias, utilizando uma caixa cilíndrica, com diversos orifícios de observação. O painel superior apresenta um esquema da montagem da caixa. O painel do meio mostra uma foto das duas partes que compõem a caixa, e o painel inferior mostra imagens da bolinha vista de diferentes orifícios, simulando diferentes fases da Lua, desde Crescente de poucos dias (Nova-Crescente) até Minguante de vários dias (Minguante-Nova).

3.3 Utilização da caixa e sugestões de exercícios

O aluno deve olhar a "Lua" no interior da caixa através de cada um dos orifícios pequenos laterais, observando como muda a forma de sua parte iluminada de acordo com o orifício através do qual está olhando. Em cada caso, identificar os ângulos entre o

orifício, o "Sol" e a "Lua", e associar com as quatro fases mais características da Lua. É interessante identificar cada orifício através de uma letra, de maneira a poder se referir a eles de maneira mais clara. Abaixo propomos alguns exercícios que permitem explorar melhor o material didático construído.

1. Desenhe a bolinha como você a observa através de cada orifício, e identifique a fase da Lua representada em cada caso.
2. Faça um desenho esquematizando a configuração Sol-Lua-observador representada em cada um dos casos acima.
3. Coloque a caixa em uma cadeira e se debruce sobre ela para fazer a observação "de ponta cabeça". Desenhe a bolinha como você a enxerga através de cada orifício. Compare com os desenhos feitos no item 1. A forma do desenho relativo a cada orifício mudou? O pedaço da bolinha visto através do mesmo orifício, você estando na posição "em pé" ou "de ponta cabeça", é diferente ou é o mesmo?
4. Abra a tampa da caixa e cole uma figura não simétrica na bolinha de isopor, de frente para um dos orifícios. Observe a bolinha através desse orifício, primeiro na posição "em pé" e depois "de ponta cabeça". Desenhe a figura que você prendeu à bolinha, tal como você a enxerga nas posições "em pé" e "de ponta cabeça".
5. O conjunto dos aspectos do relevo lunar visíveis na Lua Cheia lembra, para muitos moradores do hemisfério sul da Terra, a imagem de um coelho. Como fica a imagem desse coelho para os moradores do hemisfério norte? Para responder, pense na questão anterior.
6. A figura abaixo esquematiza uma caixa cilíndrica, tendo no interior uma bolinha, a qual é iluminada por uma lanterna acoplada à lateral da caixa à altura da bolinha. As letras A, B, C, D, E, F e G indicam orifícios na caixa, também à mesma altura da bolinha, através dos quais pode-se visualizá-la. Desenhe como ela seria vista através de cada um dos orifícios. Identifique a parte do ciclo que corresponde à fase Crescente e a parte que corresponde à fase Minguante.



7. Em que fase a Lua fica entre o Sol e a Terra? Que tipo de fenômeno pode acontecer se, nessa fase, a Lua ficar exatamente na frente do Sol?

4. Comentários Finais

O modelo experimental aqui proposto, cujo objetivo é facilitar a compreensão do fenômeno das fases da Lua do ponto de vista do observador na Terra, também pode

auxiliar na compreensão do fenômeno de eclipses solares, pois o fato de verificar que, no experimento, a "Lua Nova" acontece quando a bolinha que representa a Lua fica contra a entrada de luz, faz os alunos perceberem que a configuração Sol-Lua-Terra necessária para que a Lua encubra o Sol acontece na Lua Nova.

É importante salientar que o nosso modelo se restringe ao conceito de "fases" de um corpo iluminado; ele não dispensa o uso de outros recursos visuais, como uma boa figura ou uma maquete do sistema Sol-Terra-Lua, para a descrição de porque a Lua passa por um ciclo de fases.

Duas restrições do modelo ao qual o professor que o utilizar deve estar atento são: primeira: nele, o observador vê a "Lua" passar por um ciclo de fases devido ao movimento do observador; o professor deve se certificar de que os alunos entendam que, na realidade, é a Lua que gira em torno da Terra¹⁶, e todos os observadores na Terra vêem a mesma fase; segunda: no modelo a "Lua" mantém sempre a mesma face voltada para o "Sol", e a face voltada para a "Terra" muda. Na realidade, a Lua mantém sempre a mesma face voltada para a Terra, a face voltada para o Sol varia. Essas restrições podem ser contornadas fazendo a seguinte variação: aumentar todos os orifícios de observação e providenciar "cortinas" para todos eles (por exemplo, quadrados de papelão preto fixados na parte superior dos orifícios com fita adesiva). Para olhar através de um orifício, basta levantar a "cortina". Nesse caso, o estudante deve ficar parado com a caixa na mão, à altura dos olhos, e olhar pelo orifício oposto à fonte de luz, para que veja a "Lua Nova"; à medida que ele gira em torno de si mesmo com a caixa nas mãos, simulando grupos de aproximadamente 7 dias de rotação da Terra a cada quarto de volta com relação à sala de aula, seus colegas vão abrindo e fechando as cortinas dos orifícios que lhe permitem visualizar as outras fases; dessa forma, a Lua gira em torno da Terra e, por construção, mostra sempre a mesma face para o estudante.

Os pontos fortes do experimento são o seu aspecto lúdico, que desperta o interesse pelo assunto, e os bons resultados que ele apresenta quanto à visualização das fases, como comprovam as fotos apresentadas.

Agradecimentos:

Agradecemos aos pareceristas anônimos pela cuidadosa e paciente revisão do artigo e pelas suas valiosas sugestões para melhorá-lo. A variação do experimento apresentada na última seção é contribuição de um dos pareceristas. M.F.S. agradece aos colegas Fernando Lang da Silveira e Kepler de Souza Oliveira Filho pela leitura crítica do trabalho, ao colega Gerardo Martinez pela ajuda com o resumo em espanhol e a todos os alunos da disciplina MEF008 do semestre 2006/1 pelo entusiasmo no desempenho da atividade sugerida, o que motivou a realização deste trabalho.

Referências:

BENNET, Jeffrey; DONAHUE, Megan; SCHNEIDER, Nicholas; VOIT, Mark. **The cosmic perspective** São Francisco: Pearson Education, Inc. 2002. 666p.

¹⁶ Na verdade, Terra e Lua giram em torno de um centro de massa comum mas, como a Terra é cerca de 80 vezes mais massiva do que a Lua, o raio da órbita da Terra em torno do centro de massa é cerca de 80 vezes menor do que o raio da órbita da Lua em torno dele, de forma que o centro de massa do sistema fica dentro da Terra.

- BERRY, A. **A short history of Astronomy**. New York: Dover Publications, Inc, 1961. 440p.
- BOCZKO, Roberto. **Conceitos de Astronomia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1984. 429p.
- CAMINO, N. Ideas previas y cambio conceptual en Astronomia. Un estudio com maestros de primaria sobre el dia y la noche, las estaciones y las fases de la Luna. **Enseñanza de las Ciências**, v.13, n.1, p.81-96, 1995.
- CANALLE, João B. Explicando Astronomia com uma bola de isopor. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n.3, p.314-331, 1999.
- CDA. As fases da Lua. 2004. Disponível em:
<http://www.cdcc.usp.br/cda/aprendendo-basico/fases-lunares/fases-lunares.html>
Acesso em setembro de 2006.
- CDCC-USP. Calendário das Fases da Lua em 2007 para São Carlos - SP. 2007. Disponível em:
<http://www.cdcc.sc.usp.br/cda/efemerides/2007/calendario-lunar-2007/fases-sc-sp-2007/calendario-lunar-2007.html>
Acesso em janeiro de 2007.
- COMINS, N. **Heavenly Errors: Misconceptions about the Real Nature of the Universe**, New York: Columbia University Press, 2003.
- ESPENAK, F. **NASA eclipse home page**, 1999. Disponível em:
<http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/TYPE/moon1.html>
Acesso em agosto de 2006.
- FERRAZ-MELLO, S.; KLAFKE, J. C., A Mecânica Celeste. In: FRIAÇA, Amâncio C.S., DAL PINO, Elisabete, SODRÉ JR., Laerte, JATENCO-PEREIRA, Vera (Org.). **Astronomia: Uma Visão Geral do Universo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. Cap. 4, p. 65.
- KAVANAGH C.; AGAN, L.; SNEIDER, C. Learning about Phases of the Moon and Eclipses: A Guide for Teachers and Curriculum Developers. **Astronomy Education Review**, v. 4, n. 1, p. 19-52, 2005.
- KRASAVTSEV, B.; KHLIYUSTIN, B. **Nautical Astronomy**. Moscou: Mir Publishers, 1970. 615p.
- LANGHI, R. Idéias de Senso Comum em Astronomia. Disponível em:
<http://www.telescopiosnaescola.pro.br/langhi.pdf>
Acesso em janeiro de 2007.
- LEITE, C. **Os professores de ciências e suas formas de pensar a astronomia**. Dissertação (mestrado em Educação), Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2004.
- MEES, Alberto; STEFFANI; Maria Helena. Astronomia: Motivação para o ensino de Física. **Hipermídias de Apoio ao professor de Física**. Porto Alegre, n.1, março 2005.
- MITTON, J. **A Concise dictionary of Astronomy**. New York: Oxford University Press, 1991. 423 p.
- MORES, Ridendo C. Romeu e Julieta. Versão digital disponível em
<http://www.culturabrasil.org/romeuejulieta/>
Acesso em jan 2007.
- NASA. The Da Vinci Glow. ScienceatNasa, 2005. Disponível em:
http://science.nasa.gov/headlines/y2005/04oct_leonardo.htm
Acesso em janeiro de 2007.
- OLIVEIRA FILHO, Kepler S., SARAIVA, Maria de Fátima O. **Astronomia e Astrofísica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004. 557p.

Maria de Fátima O. Saraiva, Cláudio B. Amador, Érico Kemper, Paulo Goulart e Angela Muller

ON-DAED. **Anuário do Observatório Nacional 2007**. Disponível em:

http://www.on.br/institucional/portuguese/biblioteca/anuario_2007/anuario-menu.html

PINHEIRO, L. Roteiro para uma aula sobre as fases da Lua. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef008/trabalhos.htm>. Acesso em agosto de 2006.

PEDROCHI; Franciana; NEVES, Marcos C. D. Concepções astronômicas de estudantes no ensino superior, **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 2, p. 2005. Disponível em:

http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen4/ART1_Vol4_N2.pdf

Acesso em janeiro de 2007.

SILVEIRA, Fernando L. As variações dos intervalos de tempo entre as fases principais da Lua. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v.23. n.3, p.300-307, 2001.

ZEILIK, Michael. 1982. **Astronomy: the evolving universe**. New York: Harper& Row, 1982, 623p.