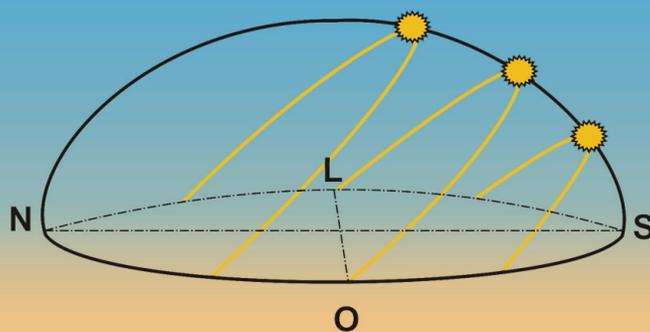


Posição do nascer do Sol no horizonte



Paulo Bedaque

Grupo de Estudos em Epistemologia e Didática, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil
E-mail: bedaque@ciencias.com.br

Paulo Sergio Bretones

Departamento de Metodologia e Ensino, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil.
E-mail: bretones@ufscar.br

Introdução

Muitas pessoas acreditam que o Sol nasce no ponto cardinal leste e se põe no ponto cardinal oeste todos os dias do ano em qualquer latitude. Ocorre que a maioria das pessoas vive em cidades e perdeu o costume de observar os fenômenos celestes. No que se refere ao movimento do Sol, seu nascer e ocaso, as concepções das pessoas já foram pesquisadas por vários autores [1-3].

Conforme mencionado na Ref. [4], a concepção de crianças e adultos de que “o Sol sempre nasce no leste e se põe sempre no oeste” ocorre porque muitos professores se apoiam nesta ideia. Para isto, os autores propõem observações dos fenômenos para vários locais e épocas do ano. A questão pode ser trabalhada na escola, em especial na disciplina de física, mas também em geografia ou mesmo em ciências nos últimos anos do Ensino Fundamental.

A esfera celeste

Ao observarmos o céu, temos a sensação de estar no centro de uma esfera na qual estariam os planetas, as estrelas, a Lua, o Sol e todos os outros astros. Chamamos de esfera celeste a essa esfera imaginária, de raio escolhido arbitrariamente como sendo 1.

Para localizar um astro na esfera celeste são adotados sistemas de coordenadas e destacamos dois: sistema horizontal e sistema equatorial. O sistema horizontal, também chamado de sistema alta-azimutal, usa as coordenadas altura (h) e azimute (A) (Fig. 1). A altura h de um astro é a medida angular do ponto ocupado pela estrela na esfera celeste ao horizonte do observador e varia entre -90° e 90° . Para pontos acima

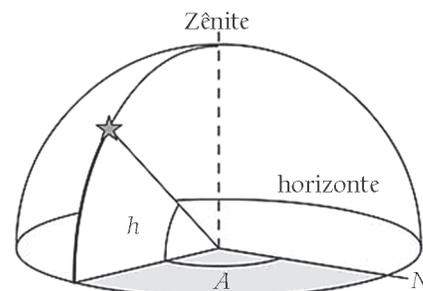


Figura 1: Sistema Horizontal de Coordenadas Celestes (Fonte: Ref. [5]).

do horizonte a altura é positiva (0° a 90°) e negativa para pontos abaixo do horizonte (não visíveis). O ponto de altura 90° é chamado de Zênite, que está acima da cabeça do observador. A outra coordenada horizontal é o azimute A . Ele é medido em graus sobre o horizonte, a partir do ponto cardinal norte, no sentido horário (N-L-S-O), como mostra a figura. Com o passar das horas, as coordenadas altura e azimute de um astro mudam. Por outro lado, o sistema equatorial de coordenadas astronômicas utiliza as coordenadas declinação (δ) e ascensão reta (α) (Fig. 2). Para entender esse sistema, precisamos antes definir o que são equador celeste, eclíptica e eixo do mundo.

Considere o eixo da rotação da Terra. Se ele for prolongado dos dois lados, até encontrar a esfera celeste, temos um novo eixo chamado eixo do mundo. Os pontos de interseção do eixo do

mundo com a esfera celeste são chamados de polo celeste sul e polo celeste norte. Já o equador terrestre, projetado sobre a esfera celeste, gera um novo círculo, chamado de equador celeste. Ele divide a esfera celeste em dois hemisférios, o hemisfério celeste sul e o hemisfério celeste norte.

Em geral as pessoas trazem a informação de que o Sol nasce sempre no ponto cardinal leste e se põe no oeste. Ocorre que a maioria das pessoas vive em cidades e perdeu o costume de observar os fenômenos celestes

Em geral as pessoas trazem a informação de que o Sol nasce sempre no ponto cardinal leste e se põe no oeste. Para abordar esta questão são apresentados conceitos relacionados à esfera celeste e seu movimento diário, bem como o movimento aparente do Sol para observadores de várias latitudes. Apresentamos uma expressão que permite calcular a posição do nascer do Sol ao longo do ano em função da latitude do observador e a aplicamos para vários casos. Finalmente são apresentados modelos e outros recursos didáticos que permitem abordar tais conteúdos em sala de aula. Nota: Este artigo é uma versão resumida do artigo Variação da posição de nascimento do Sol em função da latitude publicado na Revista Brasileira de Ensino Física 38, e3307 (2016).

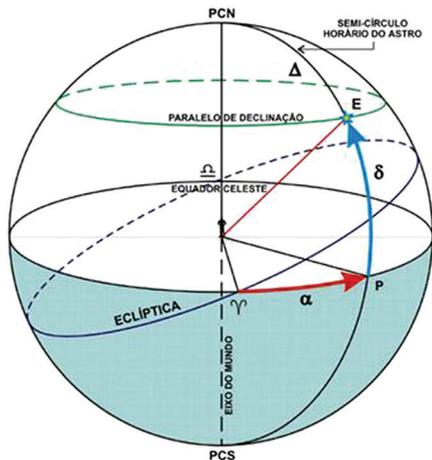


Figura 2: Sistema Equatorial de Coordenadas Celestes (Fonte: Ref. [6]).

A eclíptica corresponde à projeção na esfera celeste da trajetória da Terra em seu movimento de translação ao redor do Sol. O eixo da Terra não é perpendicular ao plano de sua órbita ao redor do Sol. Assim, o equador celeste está inclinado em relação à eclíptica e esta inclinação é de $23,5^\circ$, como pode ser observado na Fig. 2. Desta forma, o equador celeste cruza com a eclíptica em dois pontos indicados como Υ e Ω . O ponto Υ é chamado de Ponto Vernal (ou Ponto Gama).

Chama-se declinação δ de um astro a sua distância angular (em graus) do equador celeste. Ela varia de -90° a 90° ; as declinações são negativas para pontos do hemisfério celeste sul e positivas para aqueles do hemisfério celeste norte. Chama-se ascensão reta α a distância angular medida sobre o equador celeste e contada a partir do ponto Υ . Seu valor costuma ser medido em horas, variando de 0 h a 24 h. A vantagem do sistema equatorial sobre o sistema horizontal é que o primeiro utiliza coordenadas que independem da hora do dia e da posição do observador na superfície da Terra.

Movimento diário da esfera celeste

Quando a Terra é tomada como sis-

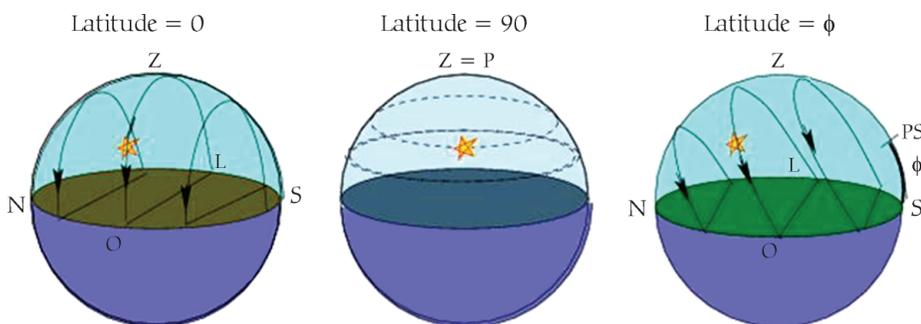


Figura 3: Movimento diário da esfera celeste para várias latitudes (Fonte: Ref. [7]).

tema de referência, temos que a esfera celeste se move de leste para oeste.

Assim, os astros nascem no leste e se põem no oeste. As chamadas estrelas circumpolares são aquelas, para observadores de uma certa latitude, que estão sempre acima do horizonte, não nascem e nem se põem e estão próximas de um dos polos celestes.

A percepção do movimento diário da esfera celeste é diferente conforme a posição do observador na Terra. Podemos considerar três situações básicas. Primeira para um observador no equador terrestre (Fig. 3a). Como a Terra gira ao redor de seu eixo, neste caso sobre o horizonte, o movimento dos astros se dá em círculos perpendiculares ao plano do horizonte. O próprio plano do equador celeste é perpendicular ao plano do horizonte. Os astros nascem, atingem sua altura máxima e se põem, levando praticamente o mesmo tempo abaixo e acima do horizonte. Um observador no equador terrestre pode observar todo o céu e não existem estrelas circumpolares, pois todas nascem e se põem.

Já os observadores que vivem em um dos polos (Fig. 3b), e como o equador terrestre está sobre o horizonte, o movimento da esfera celeste ocorre de modo que os astros descrevam círculos paralelos ao horizonte. Assim, só se pode observar um dos hemisférios celestes e todas as estrelas são circumpolares.

Mas a situação mais frequente para a maioria das pessoas no mundo não é aquela representada pelas Figs. 3a e 3b e sim a mostrada na Fig. 3c, para observadores localizados em uma determinada latitude ϕ diferente de 0° e de 90° . Nessa situação, o equador celeste se apresenta com certa inclinação em relação ao plano do horizonte e todos os astros descrevem arcos inclinados no céu.

Movimento anual do Sol na esfera celeste

A Terra descreve uma órbita ao redor

do Sol, completando uma volta aproximadamente a cada 365,25 dias ou, ou seja, a cada 1 ano.

A inclinação do equador celeste em relação à eclíptica, juntamente com o movimento de translação da Terra, é que explica que o Sol nasce em diferentes pontos do horizonte ao longo do ano. Uma maneira de perceber isso é usar algum referencial, como um poste, uma árvore ou mesmo uma janela. Observando-se o nascer do Sol sempre do mesmo ponto, poderemos perceber que ele nasce em pontos diferentes do horizonte ao longo do ano (Fig. 4).

Para observadores do hemisfério sul da Terra, após o início da primavera e no verão, o Sol nasce à esquerda do leste, mais ao norte e após o início do outono e no inverno, à direita do leste, mais ao sul.

Afinal, onde nasce o Sol?

O Sol se move ao longo da eclíptica durante o ano e cruza o equador celeste em duas ocasiões (Fig. 5). Essas datas coincidem com os inícios da primavera e do outono. Por causa desse movimento, a

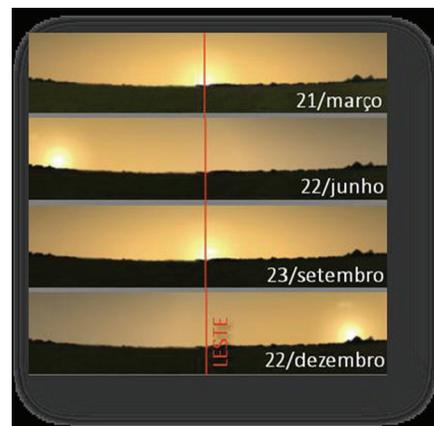


Figura 4: Variação da posição onde o Sol nasce ao longo do ano (Fonte: Ref. [8]).

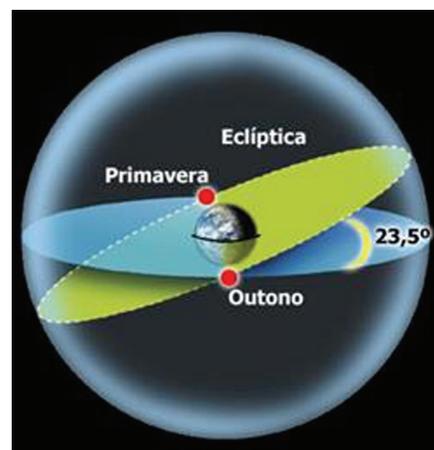


Figura 5: Inclinação da eclíptica em relação ao equador celeste (Fonte: Ref. [9]).

declinação do Sol (afastamento com relação ao Equador) varia entre $-23,5^\circ$ a $23,5^\circ$, aproximadamente. As declinações negativas indicam que o Sol está no hemisfério celeste Sul enquanto as positivas indicam que ele se encontra no hemisfério celeste norte.

Essa variação de declinação ao longo do ano é que resulta em diferentes trajetórias do Sol, para cada observador, ao longo do dia. Para um observador em uma latitude intermediária (Fig. 3a), todos os astros descrevem arcos inclinados no céu.

Pela Fig. 6 notamos que, quando a declinação do Sol é $-23,5^\circ$, sua trajetória naquele dia será a indicada pelo arco mais à direita. Quando sua declinação é zero (quando está sobre o equador celeste), ele descreverá o arco do meio. O arco mais à esquerda corresponde à declinação $+23,5^\circ$. Os pontos onde o equador celeste cruza o horizonte são os pontos cardeais leste e oeste. Por esta figura já se pode observar que o ponto de nascer do Sol varia bastante ao longo do ano. No início do verão no hemisfério sul, o Sol nasce bem à direita do leste. Já no início do inverno, nasce bem à esquerda do leste. Para um observador sobre equador terrestre, o Sol também nasce nos pontos mais extremos, à direita ou a esquerda do leste. Já para observadores nos polos, onde o equador coincide com o horizonte, ora o Sol está acima, ora está abaixo dele. Desta forma, para este observador, o dia terá duração de seis meses seguido de uma noite de mesma duração.

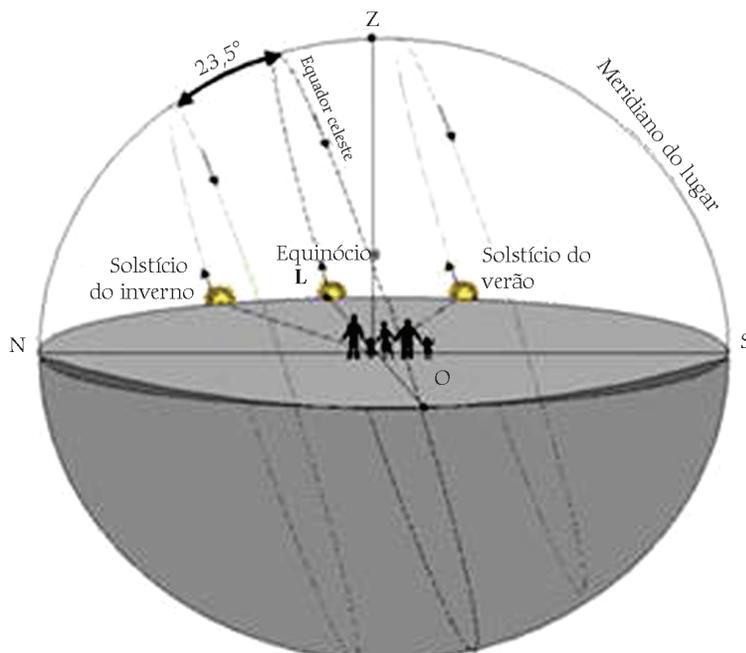


Figura 6: Movimento do Sol, nascendo em diferentes posições, nas diferentes estações do ano, para uma latitude intermediária (Fonte: Ref. [10]).

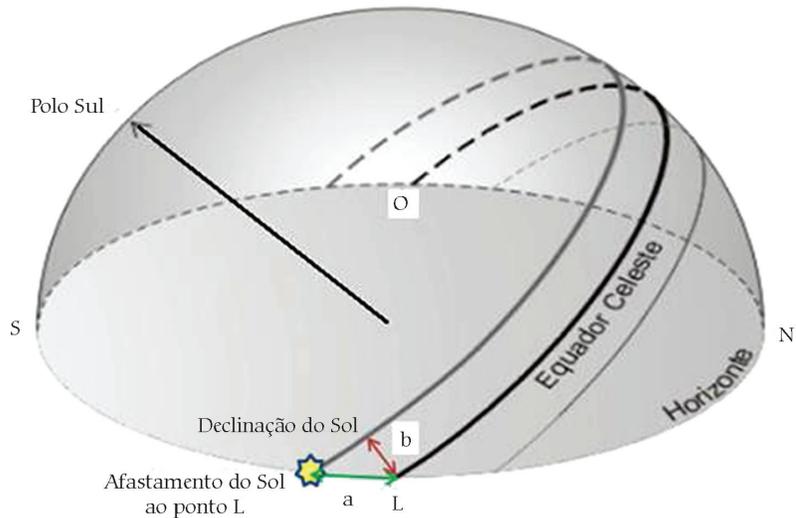


Figura 7: Posição do nascer do Sol mostrando o afastamento angular (a) em função da declinação (b).

Calculando a variação da posição do nascer do Sol

Pela Fig. 7, nota-se que a amplitude de variação da declinação do Sol é 47° , o que não corresponde necessariamente à amplitude da variação da posição do nascer do Sol no horizonte. A variação angular depende da latitude do observador e pode ser muito maior que 47° . Como exemplo, para um observador localizado na latitude 60° , o Sol nasce entre pontos extremos no horizonte que “distam” entre si 105° .

Apesar de se tratar de um triângulo esférico, fazendo uma analogia com a

geometria plana, tudo se passa como se a declinação fosse um cateto (b) enquanto o afastamento angular ao ponto L fosse uma hipotenusa (a). Assim, o arco **a** será sempre maior ou igual ao arco **b**. Assim, quanto mais inclinado for o equador com relação ao horizonte, o que acontece quanto maior for a latitude, maior será o valor do arco **a** no horizonte.

Para sabermos a declinação do Sol em determinado dia, podemos calcular

$$\delta = -23,44 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot (T + 10)\right) \quad (1)$$

onde T = número do dia do ano ($0 \leq T \leq 365$).

Na Fig. 8 mostramos o gráfico no qual se pode estimar a declinação do Sol para cada dia. Nota-se que o maior valor da declinação ($23,45^\circ$) ocorre por volta dia 21 de junho, que corresponde à data do solstício (verão no norte e inverno no sul).

Já o azimute do Sol no instante de seu nascimento, pode ser encontrado pela expressão

$$A = \arccos(-\sin\delta/\cos\phi) \quad (2)$$

onde δ = declinação do Sol e ϕ = latitude local.

Como exemplo, vejamos o caso da cidade de São Paulo, cuja latitude é de aproximadamente $23,5^\circ$. No solstício do verão no hemisfério Sul, em 22 de dezembro, a declinação do Sol vale $\delta = -23,45^\circ$. Assim, o azimute do Sol neste dia será $A_1 = \arccos[-\sin(-23,45^\circ)/\cos(23,5^\circ)] = 64,3^\circ$. Para o dia do solstício de inverno, 21 de junho, para S. Paulo, encontramos $A_2 = 115,7^\circ$. A diferença entre esses azimutes corresponde à amplitude entre os pontos extremos de nascer do Sol no horizonte. Neste caso, o valor é de $A_2 -$

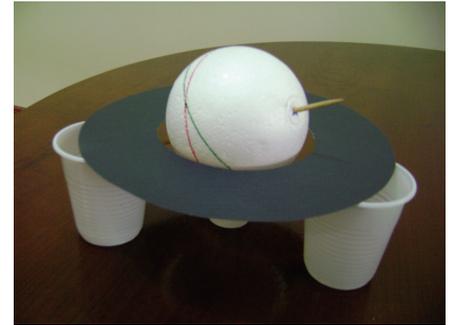
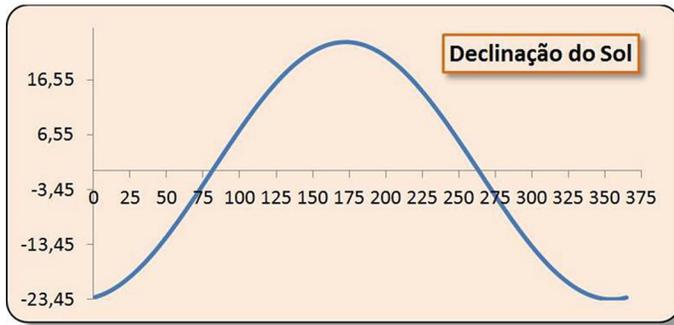


Figura 10: Modelo de isopor para a esfera celeste. Fonte: Fotos de Paulo S. Bretones.

Figura 8: Gráfico mostrando a variação da declinação do Sol ao longo do ano.

$A_1 = 51,4^\circ$. Isso mostra que o Sol não nasce sempre no Leste e que essas amplitudes não se limitam ao valor de 47° como muitos pensam. A Tabela 1 mostra essas amplitudes calculadas para outros pontos.

A Fig. 9 apresenta a variação dessas amplitudes em função da latitude do observador.

Modelos didáticos

Um modelo simples, conforme proposto na Ref. [11], que adaptamos, pode ser feito na escola usando-se três copos descartáveis de água e um copinho de café, uma esfera de isopor de aproximadamente 10 cm de diâmetro, um palito de churrasco, um pequeno alfinete e uma coroa circular de cartolina, com raios interno e ex-

terno de aproximadamente 11 cm e 16 cm (Fig. 10). São necessárias ainda duas canetas hidrográficas de cores diferentes. A esfera de isopor fará o papel da esfera celeste e o palito o seu eixo de rotação. Colocado o eixo, deve-se desenhar o equador celeste (em vermelho na foto). Deve-se desenhar a eclíptica em verde, com uma inclinação de $23,45^\circ$. Se posicionarmos a esfera no meio da coroa, podemos simular estar a uma latitude qualquer, por exemplo, 45° . O Sol poderá ser marcado sobre a eclíptica nas posições de solstícios, as mais afastadas do equador (declinações máximas), o que pode ser feito com um alfinete. Primeiramente, vamos supor que o Sol esteja na máxima declinação norte. Se for girada a esfera, pode-se simular o instante em que o Sol

nasce. Esta posição pode ser marcada na cartolina, que faz o papel de horizonte do observador. Supondo agora o Sol no ponto de máxima declinação sul, também podemos marcar a posição de seu nascimento no horizonte. Com essas duas posições marcadas, pode-se notar a amplitude do nascer do Sol para aquela latitude.

Um modelo clássico foi proposto na Ref. [12] usando um balão de vidro. Nele se desenha a eclíptica e o equador celeste enquanto o horizonte é representado pela superfície da água, colocada no balão (Fig. 11).

A Ref. [13] propõe um modelo onde são usados arcos de arame para representar o meridiano local e o equador celeste. Para posicionar o equador celeste são usadas fotografias do nascer e do pôr do Sol no início da primavera ou do outono, obtendo-se a exata posição dos pontos cardiais leste e oeste. O mesmo se faz nos dias de solstícios e são fixados outros dois arames paralelos ao equador, onde se pode formar a área de movimentação do Sol durante o ano. Alguns desses modelos podem ser feitos em escala onde se permita que um aluno ocupe o seu interior para melhor visualização dos elementos da esfera celeste (Fig. 12).

Outro recurso didático que pode ser usado está na página da Universidade de Nebraska [14]. Trata-se de um simulador dos movimentos do Sol onde se pode fixar, em uma determinada data, a latitude do observador e com isso observar o movimento do Sol na esfera celeste. Escolhemos como exemplo o dia 21 de junho e a latitude de -30° . A tela está mostrada na Fig. 13, com o nascer do Sol aproximadamente às 7:00 h da manhã. Note que o Sol está nascendo à esquerda do leste, pois em junho no hemisfério sul é inverno. Se clicarmos no botão *start animation*, podemos observar o movimento diário do Sol nesta data e local. Sugerimos uma visita à página para testar outros dias e latitudes.

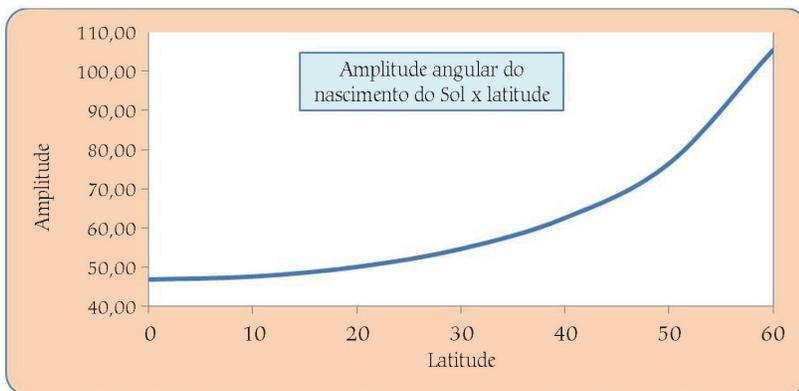


Figura 9: Gráfico mostrando a variação da Amplitude angular dos pontos de nascimento do Sol, em função da latitude do observador.

Tabela 1: Exemplos de cidades, com diferentes latitudes, mostrando o azimute do nascimento do Sol no solstício de verão, no solstício de inverno e a correspondente amplitude.

Cidade	Latitude	Solstício de Verão	Solstício de Inverno	Amplitude
Macapá	0,0	66,6	113,5	46,9
Fortaleza	-3,7	66,5	113,5	47,0
Salvador	-13,0	65,9	114,1	48,2
Brasília	-15,8	65,6	114,4	48,8
S. Paulo	-23,5	64,3	115,7	51,4
Porto Alegre	-30,0	62,7	117,3	54,6
Londres	51,5	50,3	129,7	79,4
Ushuaia	-54,8	46,4	133,7	87,3
Estocolmo	59,3	38,8	141,2	102,4

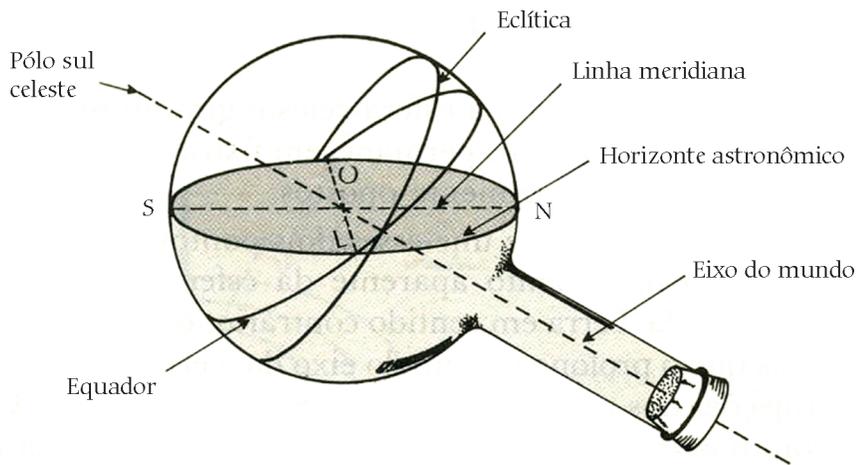


Figura 11: Modelo de esfera celeste com balão de vidro (Fonte: Ref. [12]).



Figura 12: Modelo com arcos representando os elementos da esfera celeste (Fonte: Ref. [13]).

Figura 13: Página referente ao simulador dos movimentos do Sol disponibilizada pela Universidade de Nebraska (Fonte: Ref. [14]).

Conclusão

Os resultados de pesquisas mostram que existem concepções erradas sobre os pontos onde o Sol nasce e se põe no horizonte. Este artigo propôs o uso de elementos da esfera celeste, com o uso da trigonometria esférica e recursos didáticos ao alcance de alunos e professores. O artigo não pretende esgotar o assunto e esperamos que tais recursos sejam usados nas escolas gerando novos trabalhos e experiências. Com isso podem ser desenvolvidos outros estudos, baseados na realidade do nosso país, sobre as concepções dos alunos, outros recursos didáticos e a metodologia de ensino de tais conteúdos.

Referências

- [1] B.M. Sebastião, Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia **1**, 7 (2004).
- [2] R. Langhi e R. Nardi, Cad. Bras. Ens. Fís. **24**, 87 (2007).
- [3] R. Langhi, Cad. Bras. Ens. Fís. **28**, 373 (2011).
- [4] N. Camino y R.M. Ros, Educación en Ciencias **1**, x11 (1997).
- [5] Documentação disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_horizontal_de_coordenadas
- [6] Documentação disponível em http://www.urametrianova.pro.br/cursos/astronomia_esferica01/esferica1060.htm, consultada em 23/11/2015.
- [7] Documentação disponível em www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/mov_apar_astro.htm, consultada em 23/11/2015.
- [8] Documentação disponível em http://fiscamoderna.blog.uol.com.br/arch2009-12-20_2009-12-26.html, consultada em 23/11/2015.
- [9] Documentação disponível em http://revistagalileu.globo.com/EditoraGlobo/componentes/article/edg_article_print/0,3916,900784-1941-2,00.html, consultada em 23/11/2015.
- [10] Documentação disponível em http://www.das.inpe.br/ciaa/cd/HTML/dia_a_dia/1_5_2.htm, consultada em 23/11/2015.
- [11] C.A. Kantor e L.C. Menezes, *Os Astros e o Cosmo* (Escolas Associadas, São Paulo, 2002).
- [12] R. Caniato, *O Céu* (Átomo, Campinas, 2011).
- [13] R.M. Ros, in: *Ensino de Astronomia na Escola: Concepções, Ideias e Práticas*, editado por M.D. Longhini (Átomo, Campinas, 2014), p. 215-236.
- [14] Documentação em: <http://astro.unl.edu/naap/motion3/animations/sunmotions.html>, consultada em 23/11/2015.