
Movimento relativo Terra - Sol

De acordo com a Ciência, sabemos que a Terra efetua dois tipos principais de movimento¹, um de rotação em torno do próprio eixo e outro de translação em torno do Sol. Mas, como todo movimento é relativo, também podemos tomar a Terra como referência e analisar o movimento do Sol em relação a ela.

Antes disso, vamos começar pelo que vemos ao observar o movimento aparente do Sol no céu de Belo Horizonte, por exemplo, uma cidade com latitude de aproximadamente 20° Sul. Todos os dias vemos que o Sol nasce do lado leste e se põe no lado oeste, mas este movimento não é tão simples quanto parece. Primeiramente, o plano definido pelo arco que o Sol descreve no céu desde o seu nascimento até o seu ocaso não é perpendicular à superfície de nosso horizonte (superfície definida pela chão que pisamos). O arco é um pouco inclinado (esta inclinação está ligada a latitude do local). A **figura 1** mostra a evolução da sombra solar produzida por uma haste vertical ao longo de um dia qualquer. Com exceção de dois dias do ano², mesmo quando o Sol estiver passando pelo topo de seu movimento, momento chamado de **meio dia solar**³, ainda existirá uma pequena sombra ao longo da direção Norte-Sul.

Além disso, apesar do Sol nascer/morrer no lado leste/oeste, somente em dois dias do ano, nos equinócios de primavera e outono, ele nasce/morre exatamente no ponto cardinal leste/oeste. A **figura 2** mostra o movimento diurno do Sol em quatro datas importantes do ano, nos solstícios de verão (trajetória “a”) e inverno (trajetória “c”) e nos equinócios de outono (trajetória “b”) e primavera (trajetória “d”).

¹ Além dos movimentos principais de rotação e translação, a Terra também possui outros movimentos, como a precessão do eixo de rotação, a nutação e o deslocamento do periélio.

² Para uma cidade na linha do equador, estes dois dias seriam os dias de equinócio. Você saberia determinar quais seriam estes dias em sua cidade?

³ Sabia que o meio dia solar em um dia qualquer não coincide, necessariamente, com o meio dia exato do seu relógio?

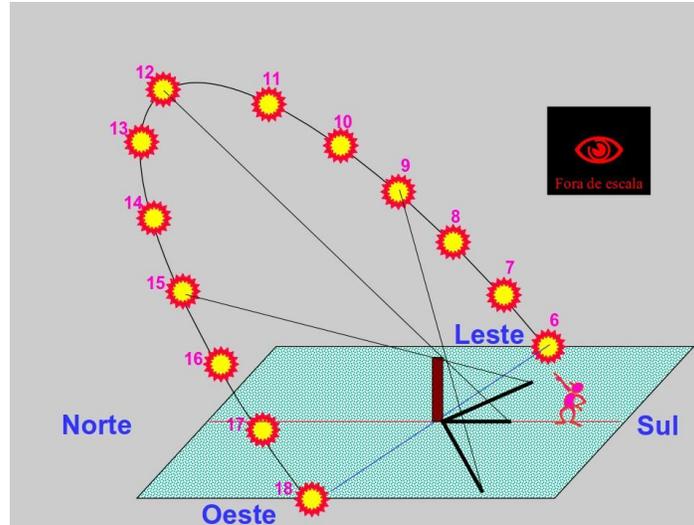


Figura 1 - Movimento aparente do Sol em um dia qualquer. Note que o plano definido pelo arco de trajetória do Sol não é perpendicular ao chão. O ângulo entre o plano do arco e a direção vertical é igual ao valor da latitude do local. Figura adaptada de uma apresentação disponibilizada pelo professor Paulo Henrique Azevedo Sobreira no XVIII Minicurso de Astronomia para professores, ocorrido dentro da XXXIX Reunião Anual da SAB.

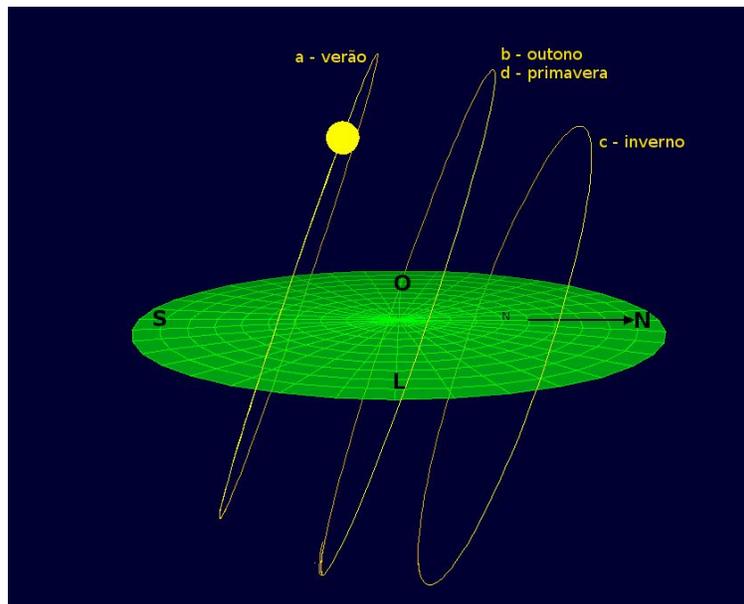


Figura 2 - Evolução das trajetórias diurnas do Sol ao longo do ano para um observador na cidade de Belo Horizonte (latitude de aproximadamente 20°).

Ao longo do ano, o caminho diurno descrito pelo Sol irá completar um ciclo passando por estas quatro trajetórias. Tomando como ponto de partida o solstício de verão (trajetória “a”), o Sol passará sucessivamente pelas trajetórias “b” (equinócio de outono), “c” (solstício de inverno), “d” (agora como equinócio de primavera) e, finalmente, fechará o ciclo ao retornar à trajetória “a”. Para visualizar a variação dos

pontos de nascimento e ocaso do Sol ao longo do ano, a **figura 3** mostra fotografias do pôr do Sol em datas diferentes para a cidade de Porto Alegre (em Belo Horizonte também acontece da mesma forma). Outra observação interessante é que, com exceção dos dois dias de equinócio, a duração do dia (Sol acima do horizonte) é diferente da duração da noite (Sol abaixo do horizonte)⁴. Os dias são mais longos no verão e mais curtos no inverno, tendo a mesma duração da noite somente nos dois dias de equinócios.



Figura 3. Fotos do pôr do sol em Porto Alegre, entre 21/6/2003 e 21/3/2004 (crédito: Maria de Fátima Oliveira Saraiva).

Como vimos, o movimento aparente do Sol, diariamente e anualmente, não é tão simples assim. Para piorar, este movimento ainda depende da latitude do observador. A **figura 4** mostra o movimento aparente do Sol para uma pessoa sobre a linha do equador (latitude 0°). O movimento parece mais simples do que vemos em Belo Horizonte. Os arcos das trajetórias agora são perpendiculares à superfície de nosso horizonte e os dias tem a mesma duração das noites durante todo o ano. Mas, ainda como antes, o pontos de nascimento e ocaso do Sol também mudam ao longo do ano. A **figura 5** mostra o movimento do Sol para um observador que esteja sobre um dos pólos, em latitude igual a 90° N ou S . Aqui acontece algo bem diferente. No solstício de verão, o Sol faz uma trajetória circular sempre acima do horizonte. Não existe nascimento nem ocaso, com 24 horas de dia! Em contrapartida, no solstício de inverno, o Sol fará a mesma trajetória sempre abaixo do horizonte, com 24h de noite. Nos dois dias de equinócio, o Sol fará uma trajetória circular em torno do horizonte. Como ao

⁴ Se achou interessante, instale o aplicativo LunaSolCal em seu telefone móvel. Cadastre sua cidade e veja, para a data de hoje, as horas exatas de nascimento e ocaso do Sol. A duração do dia é igual a duração da noite? Em que horário do seu relógio ocorrerá o meio dia solar?

longo do ano o Sol fará uma transição entre estas quatro trajetórias, teremos seis meses de dia e seis meses de noite!

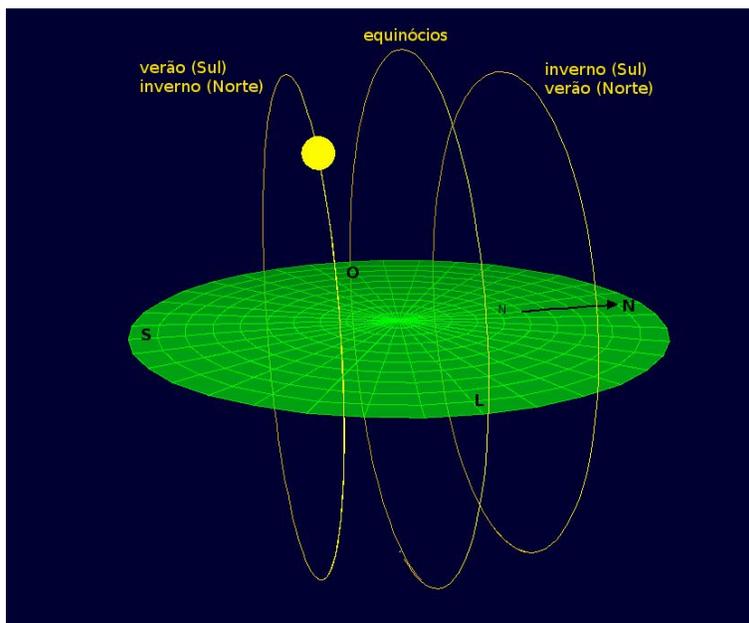


Figura 4 - Evolução das trajetórias diurnas do Sol ao longo do ano para um observador situado sobre a linha do equador (latitude igual a 0°).

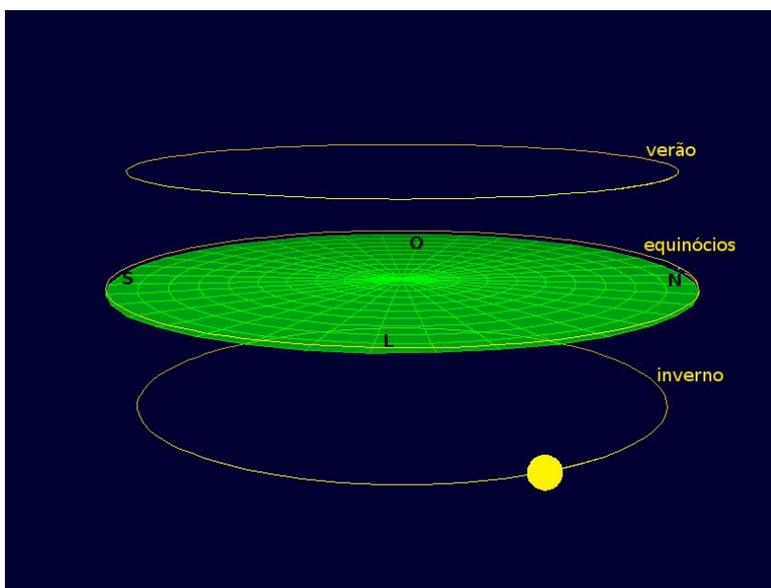


Figura 5 - Evolução das trajetórias diurnas do Sol ao longo do ano para um observador situado em um dos polos (latitude igual a 90° N ou S).

Você saberia explicar o comportamento discutido acima a partir do movimento da Terra em relação ao Sol? Não parece fácil, não é mesmo? Será que uma troca

de referencial, considerando o movimento do Sol em relação a Terra, poderia nos ajudar?

A **figura 6** mostra o movimento relativo Terra-Sol visto nos dois referenciais. No referencial do Sol (parte superior figura), a Terra, além do movimento diurno de rotação em torno de seu próprio eixo, também executa um movimento anual de translação em torno do Sol. A direção fixa⁵ do eixo de rotação durante a translação é a causa das estações do ano. Para o hemisfério Sul, temos solstícios de verão e inverno nos pontos (a) e (c), e equinócios de outono e primavera nos pontos (b) e (d). Vamos agora mudar de referencial. Na parte inferior da figura, tomando a Terra como referência, com seu eixo de rotação na vertical, teríamos o Sol transladando em torno da mesma. As configurações (a), (b), (c) e (d) do referencial anterior (do Sol) são equivalentes ao Sol passando pelas posições (a'), (b'), (c') e (d') no novo referencial (da Terra). Esta trajetória anual do Sol em torno da Terra é chamada de **eclíptica**. Neste referencial vemos que também é fácil entender a causa das estações do ano.

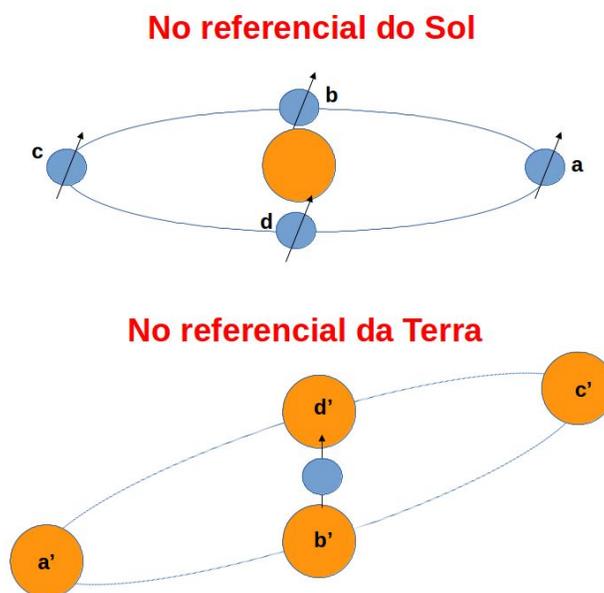


Figura 6. Movimento de translação Terra-Sol visto nos dois referenciais. Na parte superior da figura, temos a translação da Terra em torno do Sol (adotado como referencial). Na parte inferior, temos a translação do Sol em torno da Terra (adotada como referencial). As configurações (a), (b), (c) e (d) no referencial do Sol são equivalentes as configurações (a'), (b'), (c') e (d') no referencial da Terra.

Apesar de sabermos que é a Terra que translada em torno do Sol, o caráter relativo do movimento nos permite adotar o referencial da Terra. Por ter uma relação visual mais

⁵ Como o movimento de precessão do eixo de rotação da Terra possui um período muito grande (próximo de 26 mil anos), para a escala de tempo em que vivemos nossas vidas (da ordem de 100 anos), considerar o eixo de rotação fixo é uma boa aproximação.

direta com o movimento aparente do Sol e das outras estrelas, os astrônomos utilizam a Terra como referencial dentro do modelo da **esfera celeste**, mostrado na **figura 7**. A Terra fica no centro de uma esfera imaginária de raio muito grande (a esfera celeste), com todas as estrelas, incluindo o Sol, localizadas sobre a superfície da mesma. Como as estrelas estão muitos distantes de nós, este é um bom modelo para localizar um objeto no céu. Imaginando a linha do equador terrestre expandindo até tocar a esfera celeste, temos o **equador celeste**. Prolongando o eixo de rotação da Terra até a superfície da esfera, temos os **pólos Norte e Sul celestes**. Neste modelo, em vez da Terra girar em torno do próprio eixo, é a esfera celeste que gira (“levando” junto todas as estrelas do céu) em sentido contrário. Isto explica o movimento diurno do Sol e das demais estrelas que vemos no céu. Além desta rotação diurna da esfera celeste, ao longo de um ano o Sol descreve uma trajetória fechada sobre a mesma, chamada de **eclíptica**.

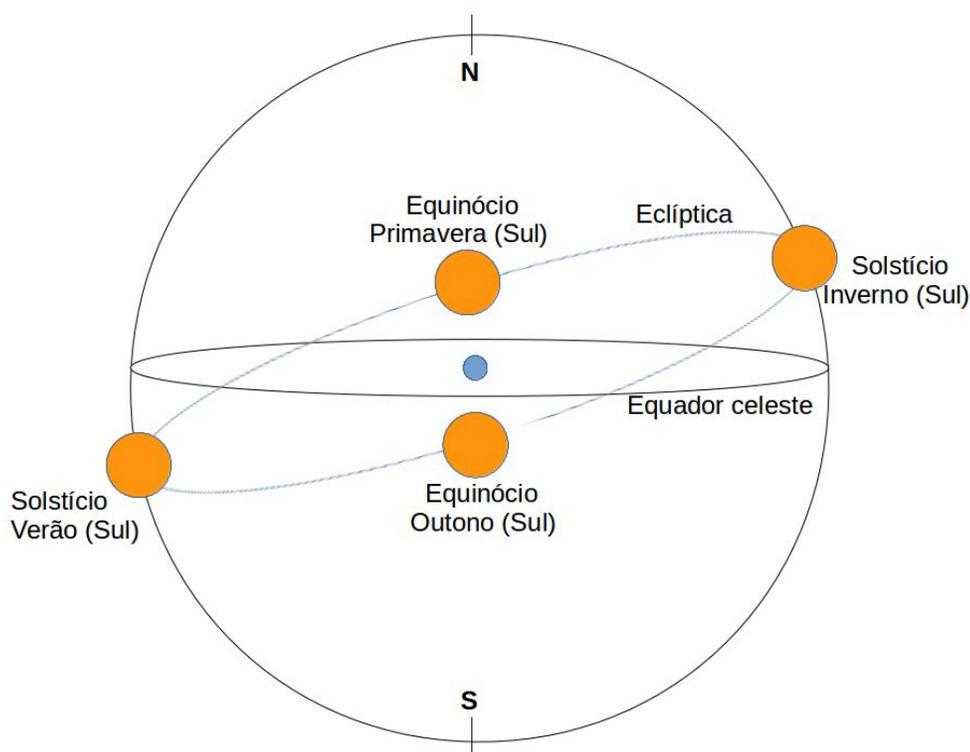


Figura 7 - O modelo da esfera celeste, com a Terra adotada como referencial no centro. A trajetória do movimento anual do Sol ao longo da esfera celeste é chamada de eclíptica.

A partir deste modelo, será que conseguimos entender os detalhes discutidos sobre o movimento aparente do Sol (o arco inclinado do movimento diurno, a variação do ponto de nascimento/ocaso ao longo do ano, as diferentes durações dos dias e noites e as variações que ocorrem em função da latitude)? No vídeo abaixo, veremos como o

modelo de esfera celeste nos ajuda a entender este complexo movimento aparente do Sol:



<https://youtu.be/aec4Ccl4sE0>

Se você gostou, baixe e a simulação e divirta-se:

<https://www.compadre.org/osp/items/detail.cfm?ID=9379>

Exercícios

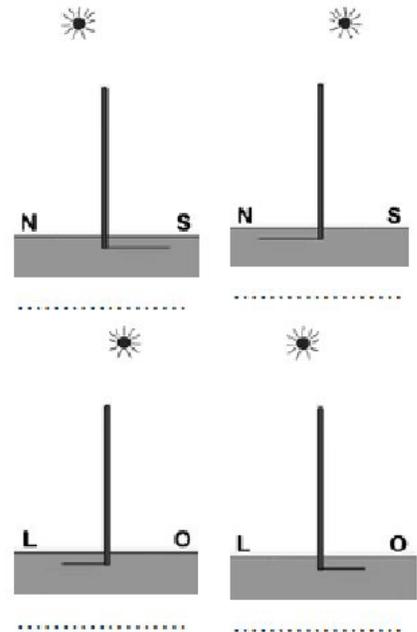
1 . (OBA/2015) A equipe da OBA realizou o 4º Encontro Regional de Ensino de Astronomia, 4º EREA, em Porto Alegre, RS, e o 53º EREA no Oiapoque, AP. Coincidentemente estas cidades estão sobre o mesmo meridiano, pois a longitude de ambas é de 51° a Oeste de Greenwich. A latitude de Porto Alegre é de -30° (o sinal “-“ significa no Hemisfério Sul) e a latitude de Oiapoque é de $+3^\circ$ (o sinal “+” significa que está no Hemisfério Norte). A cidade de Jussara, GO, está no mesmo meridiano, pois sua longitude também é de 51° , Oeste,



porém está, aproximadamente, à mesma distância do Oiapoque e de Porto Alegre, pois sua latitude é de -16° . No mapa do Brasil indicamos a localização aproximada das três cidades.

Suponha que num certo dia o Sol esteja a pino na cidade de Jussara, GO. Isto ocorre no meio dia solar verdadeiro. Um aluno ou um poste em Jussara não teria sombra neste instante. Além disso, coincidentemente, as cidades de Canavieiras, BA, e Pontes e Lacerda, MT, estão na mesma latitude de Jussara, aproximadamente equidistantes de Jussara e a aproximadamente metade da distância entre Jussara e Oiapoque. Os desenhos ao lado representam um poste e sua sombra nas cidades: Pontes e Lacerda (MT), Canavieiras (BA), Oiapoque (AP) e Porto Alegre (RS) no mesmo instante no qual o poste não tem sombra em Jussara. Escreva abaixo de cada desenho o nome da respectiva cidade.

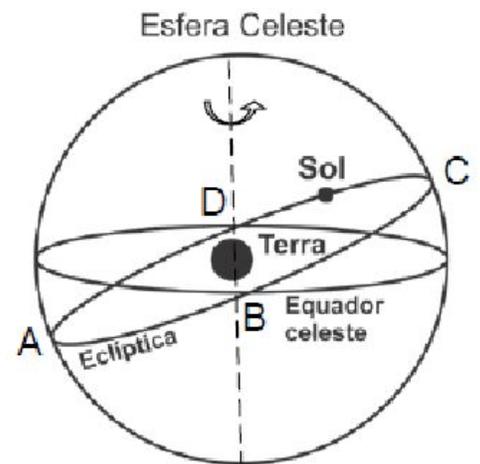
Dado: N = Norte, S = Sul, L = Leste e O = Oeste.



2. (OBA/2013/2012) O Sol, visto da Terra, se desloca, aparentemente, pelas constelações zodiacais contidas na esfera celeste, sobre uma linha imaginária chamada eclíptica. A expansão do plano do equador terrestre até a esfera celeste define o equador celeste. Eclíptica e Equador tem o mesmo centro, e estão inclinadas entre si de $23,5$ graus, logo, se cruzam. Veja a ilustração abaixo.

2 a) Quando o Sol está na intersecção da eclíptica com o Equador celeste (pontos B (20/03 em 2013) ou D (22/09 em 2013)) dizemos que está ocorrendo o Equinócio. Neste dia o Sol nasce exatamente no ponto cardinal leste para qualquer observador. De quantas horas é a duração da noite quando o Sol está nos Equinócios?

2b) Quando o Sol está nos pontos A (21/12 em 2013) ou C (21/06 em 2013) dizemos que está ocorrendo o Solstício e o Sol está a pino nos Trópicos de Capricórnio e de Câncer, respectivamente. O Sol sempre passa pelos pontos A, B, C, D quase nas mesmas datas. Quando o Sol está no ponto A, Solstício de dezembro, qual estação do ano está se iniciando no hemisfério sul? Dica: O Sol nasce e se põe mais ao Sul e a noite é a mais curta do ano.



2c) Calcule quantos graus o Sol, visto da Terra, caminha sobre a eclíptica num dia. Dado: Período sideral do Sol: aproximadamente 365 dias. Observação importante: A Lua se desloca ao redor da Terra, supondo esta imóvel, em apenas uma hora, de um ângulo igual à metade do valor obtido para o Sol!

3. (OBA/2016) O ano de 2016 é Bissexto! Nosso calendário está baseado no **Ano Trópico**. Este é o tempo que o Sol, em seu movimento aparente anual, leva entre ficar a pino no Trópico de Capricórnio, ir e ficar a pino no Trópico de Câncer e voltar a ficar a pino no Trópico de Capricórnio. Quando o Sol está a pino no Trópico de Capricórnio ou de Câncer, dizemos que está ocorrendo o Solstício de Verão naquele Hemisfério. Para ir de um Trópico para o outro, passa a pino pelo Equador Celeste e quando isso ocorre dizemos que está ocorrendo o Equinócio. É por isso que o chamamos de **Ano Trópico**, pois o Sol oscila entre os dois Trópicos. A duração deste Ano Trópico é de, aproximadamente, **365,25** dias. Sua vantagem é que as estações do ano sempre começam, aproximadamente, nas mesmas datas, além de ser simples a observação dos Equinócios e dos Solstícios.

Abaixo mostramos uma figura esquemática ilustrando esta oscilação do Sol em seu aparente movimento anual entre os trópicos, supondo a Terra imóvel, claro.

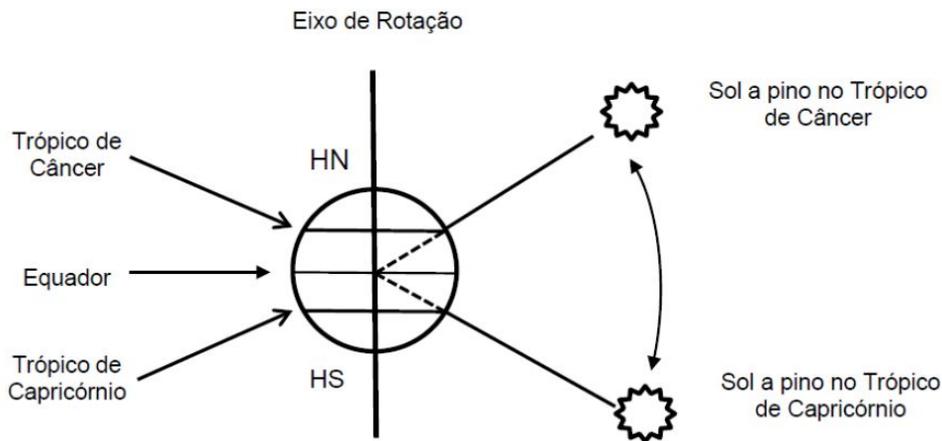


Figura esquemática da oscilação do Sol entre os dois trópicos. Nesta figura HN e HS significam Hemisfério Norte e Sul, respectivamente. Esta “oscilação” do Sol só ocorre devido à inclinação do eixo de rotação da Terra em relação à perpendicular ao plano de sua órbita. Se o eixo de rotação fosse perpendicular ao plano da órbita nada disso aconteceria e não haveria as estações do ano.

3a) Em nosso calendário o ano tem 365 dias, então, quantas horas “faltam” em cada ano? Atenção: A resposta precisa ser em horas. Registre abaixo as suas contas.

3b) Quando as “faltas” totalizam um dia, após 4 anos, adicionamos um dia em fevereiro e chamamos este ano de “bissexto”. Este ano tem 366 dias, isto é, 2016 é bissexto, assim como foi 2008 e 2012. Pergunta-se: Será 2056 bissexto? Atenção: Registre abaixo as suas contas.