

Aula 3: Movimento Anual do Sol e Estações do Ano.

Maria de Fátima Oliveira Saraiva, Kepler de Souza Oliveira Filho & Alexei Machado Müller



O espetáculo do por do sol no Guaíba, em Porto Alegre.

Introdução

Prezado aluno,

Observar um belo pôr-do-sol é motivo de deleite e contemplação para a maioria das pessoas. Quem tem oportunidade de fazê-lo amiúde pode perceber o deslocamento diário do local em que o Sol se põe, fazendo uma oscilação completa em torno do ponto Oeste no período de um ano. Será que essa oscilação tem a mesma amplitude em todo lugar da Terra?

Se pudéssemos ver as estrelas junto com o Sol veríamos seu lento movimento entre elas. Os antigos deram o nome de eclíptica à trajetória descrita pelo Sol entre as estrelas ao longo do ano. Há cinco séculos sabemos que o movimento do Sol ao longo da eclíptica é um movimento aparente, reflexo do movimento da Terra em torno dele. Ao percorrer sua órbita, a Terra passa por um ciclo de estações, em que se alternam os hemisférios que são mais aquecidos pelo Sol. Por que acontecem as estações do ano?

Esses são os assuntos da aula de hoje.

Boa aula!



Objetivos

Esperamos que, estudando esta aula, você possa:

- explicar a causa das estações do ano;
- definir eclíptica e descrever como encontrar sua posição aproximada na esfera celeste;
- definir equinócios e solstícios em termos do movimento anual do sol na esfera celeste;
- descrever o movimento diurno do Sol nas diferentes estações do ano em diferentes latitudes;
- descrever a variação das posições de nascimento e ocaso do Sol ao longo do ano;
- explicar o que é insolação e comparar o seu valor em diferentes lugares da Terra em diferentes épocas do ano.

O que é o Sol da meia noite e em que lugares da Terra ele pode ser visto?

Eclíptica:

É o caminho aparente do Sol na esfera celeste durante o ano. Também pode ser definida como a projeção do plano orbital da Terra na esfera celeste.

Obliquidade da eclíptica:

Inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao eixo perpendicular ao plano orbital da Terra; essa inclinação é de **23°27'**.

Movimento Anual do Sol

Como vimos no final da aula anterior, o Sol, visto da Terra, como todos os astros, tem um movimento diurno de leste para oeste. No entanto, a sua posição entre as estrelas varia lentamente ao longo do ano, deslocando-se um pouquinho mais para leste a cada dia. Esse é o movimento anual do Sol, que se dá de oeste para leste, como resultado do movimento de translação da Terra em torno do Sol.

A trajetória aparente descrita pelo Sol – a eclíptica – tem uma inclinação de 23°27' em relação ao equador celeste.

A eclíptica nada mais é do que a projeção, na esfera celeste, do plano orbital da Terra, que tem uma inclinação de 23°27' em relação ao plano do equador da Terra. Essa inclinação é chamada obliquidade da eclíptica. Também podemos definir a obliquidade como a inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao eixo perpendicular ao plano orbital da Terra.



Questão:

Qual a inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao seu plano orbital?

-

Equinócio:

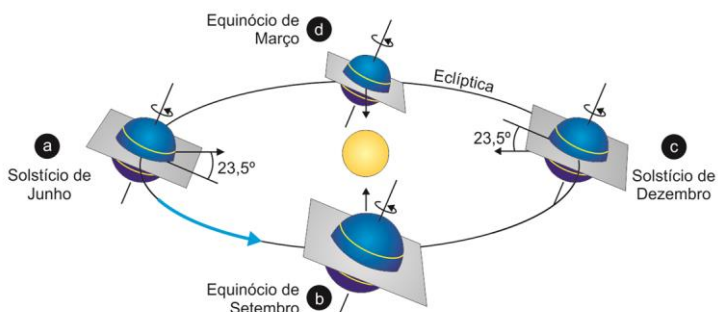
Do latim: *equi* (igual) + *nox* (noite)

Solstício:

Do latim: *Sol* + *sticium* (parado).

Declinação:

A declinação dos astros é contada a partir do equador celeste (declinação 0°) no sentido positivo para astros do hemisfério norte (declinação entre 0° e +90°) e no sentido negativo para astros do hemisfério sul (declinação entre 0° e -90°). A declinação do Sol ao longo do ano varia entre **-23°27'** e **+23°27'**.



a Trópico de Câncer voltado para o Sol	b Equador voltado para o Sol.	c Trópico de Capricórnio voltado para o Sol.	d Equador voltado para o Sol.
--	---	--	---

Figura 03.01: À medida que a Terra orbita em torno do Sol, com o equador inclinado de 23°27' em relação ao plano orbital, muda o paralelo da Terra que recebe incidência direta do Sol ao meio-dia. Disso resultam as estações do ano.

Posições características do Sol

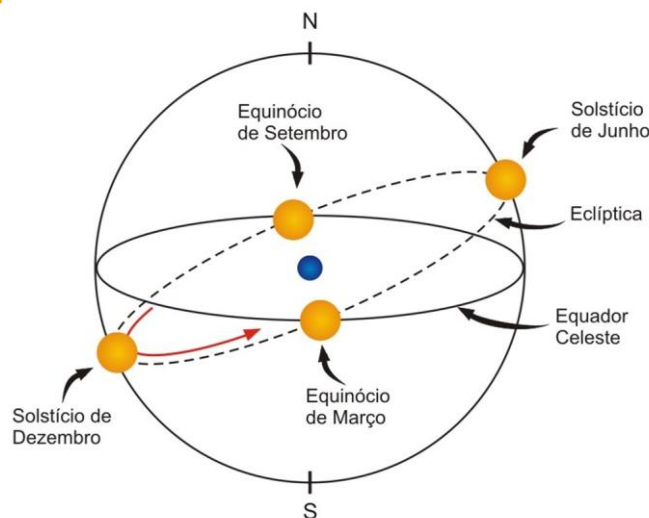


Figura 03.02: Posições do Sol na eclíptica no início de cada estação. Em 21 de março e em 23 de setembro o Sol está no equador, e temos os equinócios; em 22 de junho e 22 de dezembro o Sol atinge seu máximo afastamento do equador, e temos os solstícios.

- **Equinócio de Março** (cerca de 20 março): Sol **crusa o equador**, indo do hemisfério sul celeste para o hemisfério norte celeste.
 - o dia claro e a noite duram 12 h em toda a Terra (nos polos o Sol fica no horizonte);
 - **no hemisfério sul (HS) é o equinócio de outono; no hemisfério norte (HN) é o equinócio de primavera.**
- **Solstício de Junho** (cerca de 21 junho): Sol está na **máxima declinação norte** (+23°27'), incidindo diretamente na região do Trópico de Câncer na Terra.
 - o dia claro é o mais curto do ano em todo o hemisfério sul da Terra, e o dia mais longo do ano em todo o hemisfério norte da Terra. Em Porto Alegre, o dia dura aproximadamente 10h 10min;
 - no polo sul da Terra o Sol fica abaixo do horizonte 24h; no polo norte o Sol fica acima do horizonte 24h;
 - **é solstício de verão no hemisfério norte, solstício de inverno no hemisfério sul.**



- **Equinócio de Setembro** (cerca de 22 de setembro): Sol **crusa o equador**, indo do hemisfério norte celeste para o hemisfério sul celeste.
 - o dia e a noite duram 12 h em toda a Terra;
 - nos polos, 24 h de crepúsculo;
 - é equinócio de **primavera** no **hemisfério sul**, equinócio de **outono** no **hemisfério norte**.
- **Solstício de Dezembro** (cerca de 21 dezembro): Sol está na **máxima declinação sul** ($-23^{\circ}27'$) incidindo diretamente na região do Trópico de Capricórnio na Terra:
 - o dia mais longo do ano no hemisfério sul, dia mais curto do ano no hemisfério norte;
 - no polo sul, Sol sempre acima do horizonte;
 - no polo norte, Sol sempre abaixo do horizonte;
 - é solstício de **verão** no **hemisfério sul** e de **inverno** no **hemisfério norte**.

Movimento anual do Sol: a altura máxima do Sol varia ao longo do ano

Uma observação simples que permite "ver" o movimento do Sol, durante o ano, é através do **gnômon** (figura 03.03).



Figura 03.03: Fotografia de um gnômon e sua sombra durante um experimento. O gnômon nada mais é do que uma haste vertical fincada ao solo. Durante o dia, a haste, ao ser iluminada pelo Sol, forma uma sombra cujo tamanho depende da hora do dia e da época do ano.

A direção da sombra ao meio-dia real local (isto é, o meio-dia em tempo solar verdadeiro) nos dá a direção Norte-Sul. Ao longo de um dia, a sombra é máxima no nascer e no ocaso do Sol, e é mínima ao meio-dia. Ao longo de um ano (e à mesma hora do dia), a **sombra é máxima no solstício de inverno**, e **mínima no solstício de verão**. A bissetriz entre as direções dos raios solares nos dois solstícios define o tamanho da sombra correspondente aos equinócios, quando o Sol está sobre o equador.

Foi observando a variação do tamanho da sombra do gnômon ao longo do ano que os antigos determinaram a duração do ano das estações, ou ano tropical.

Gnômon:

Haste vertical fincada que ao ser exposta ao Sol forma uma sombra de tamanho variável com a passagem das horas e dos dias do ano.



Para pensar:

Como você faria o desenho da figura ao lado para uma latitude de 10°S?

Nascente e poente do Sol:

Pontos do horizonte em que o Sol nasce e se põe. Somente nos equinócios coincidem com os pontos cardeais leste e oeste.

Pontos cardeais leste e oeste:

São os pontos em que o equador celeste intercepta o horizonte.

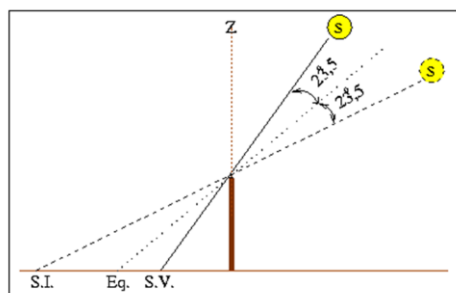


Figura 03.04: Esquema indicando as diferentes posições da sombra de um gnômon no (solstício de inverno (S.I.), equinócios (Eq.) e solstício de verão (S.V.), como aparecem em lugares de latitudes fora da região entre os dois trópicos.

Você pode ver como varia a sombra de um gnômon ao longo do ano em diferentes lugares da Terra com o *applet* em:

<http://www.math.nus.edu.sg/aslaksen/applets/sundial/sundial.html> (em Java)

Movimento anual do Sol: os pontos do horizonte em que o Sol nasce e se põe mudam ao longo do ano

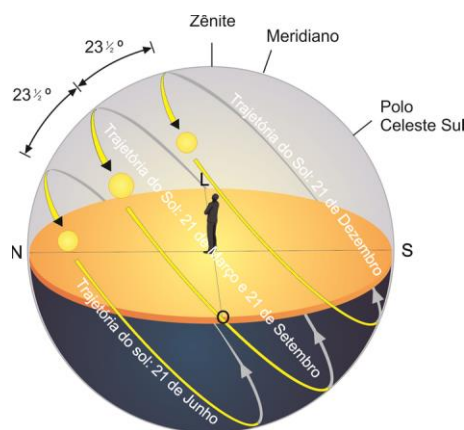


Figura 03.05: Trajetórias diurnas do Sol nos equinócios (21 mar e 23 set) e solstícios (21 jun e 21 dez), para um observador no hemisfério sul.

As variações da máxima altura do Sol durante o dia (o meio-dia verdadeiro) estão relacionadas às variações cíclicas nos pontos do horizonte em que o Sol nasce e se põe.

Nos equinócios, quando o Sol está no equador, seu círculo diurno coincide com o equador celeste, logo ele nasce no ponto leste e se põe no ponto oeste. Entre o equinócio de março e o equinócio de setembro o Sol está no hemisfério norte celeste, então ele nasce ao norte do ponto cardinal leste, e se põe ao norte do ponto cardinal oeste. Entre os equinócios de setembro e de março o Sol está no hemisfério sul celeste, então ele nasce ao sul do ponto cardinal leste, e se põe ao sul do ponto cardinal oeste.

O quanto ao norte ou ao sul dos pontos leste e oeste o Sol nasce e se põe depende da data e da latitude do lugar.

Olhando o por do Sol dia a dia, o Sol parece se deslocar para o norte durante metade do ano e para o sul na outra metade. Nas proximidades dos solstícios, quando o Sol está próximo a mudar o sentido do movimento, seu movimento fica muito lento, daí o nome “Sol parado”.



Estações do ano:

Devido à obliquidade da eclíptica, de março a setembro a incidência dos raios solares é maior no hemisfério norte, passando a ser maior no hemisfério sul de setembro a março.



Figura 03.06: Sequência de fotos tiradas em Porto Alegre, entre 21 jun 2003 e 21 mar 2004, mostrando que o Sol se põe em pontos diferentes do horizonte no decorrer do ano, como pode ser observado pelos referenciais 1 e 2 indicados.

[Neste link](#) você pode fazer uso de um simulador de movimentos do Sol.

Estações em diferentes latitudes

À medida que a Terra orbita em torno do Sol, os raios solares incidem mais diretamente em um hemisfério ou outro, proporcionando mais horas com luz durante o dia a um hemisfério ou outro e, portanto, aquecendo mais um hemisfério ou outro.

No equador todas as estações são muito parecidas: todos os dias do ano o Sol fica 12 horas acima do horizonte e 12 horas abaixo do horizonte; a única diferença é a máxima altura que ele atinge. Nos equinócios o Sol faz a passagem meridiana pelo zênite, atingindo a altura de 90° no meio-dia verdadeiro. Nas outras datas do ano o Sol passa o meridiano ao norte do zênite, entre os equinócios de março e de setembro, ou ao sul do zênite, entre os equinócios de setembro e de março. As menores alturas do Sol na passagem meridiana são de $66,5^\circ$ e acontecem nas datas dos solstícios. Portanto a altura do Sol ao meio-dia no equador não muda muito ao longo do ano e, conseqüentemente, nessa região não existe muita diferença entre inverno, verão, primavera e outono.

À medida que nos afastamos do equador, as estações ficam mais acentuadas. A diferenciação entre elas torna-se máxima nos polos.



Na Terra, a região entre latitudes $-23,5^\circ$ (Trópico de Capricórnio) e $+23,5^\circ$ (Trópico de Câncer) é chamada de região tropical. Nessa região, o Sol passa pelo zênite duas vezes por ano, com exceção dos dois trópicos, onde passa uma única vez. Fora dessa região o Sol nunca passa pelo zênite. As linhas de latitudes $+66,5^\circ$ e $-66,5^\circ$ são chamadas Círculos Polares, norte ou sul. Para latitudes mais ao norte do Círculo Polar Norte, ou mais ao sul do Círculo Polar Sul, o Sol permanece 24 horas acima do horizonte no verão e 24 horas abaixo do horizonte no inverno.

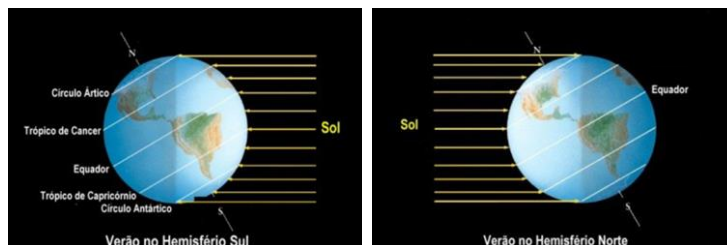


Figura 03.07: Esquema mostrando a incidência dos raios solares na Terra nos solstícios de verão no hemisfério sul (à esquerda) e no hemisfério norte (à direita). No solstício de verão no hemisfério sul o Sol incide diretamente no Trópico de Capricórnio (latitude de $23^\circ 27' S$), a região do Círculo Polar Ártico tem noite durante 24h e a região do Círculo Polar Antártico tem dia claro durante 24h. No solstício de verão no hemisfério norte o Sol incide diretamente no Trópico de Câncer (latitude de $23^\circ 27' N$), a região do Círculo Polar Ártico tem dia claro durante 24h e a região do Círculo Polar Antártico tem noite durante 24h.

Constante Solar:

Quantidade de energia por unidade de área e de tempo que atinge perpendicularmente o topo da atmosfera da Terra. Vale $1367 W / m^2$

Insolação Solar:

Quantidade de energia por unidade de área e de tempo que atinge a superfície da Terra em um determinado local.

Insolação Solar

A quantidade de energia solar que chega, por unidade de tempo e por unidade de área, a uma superfície perpendicular aos raios solares, à distância média Terra-Sol, se chama **constante solar**, e vale $1367 W / m^2$. Esse valor da constante solar é medido por satélites logo acima da atmosfera terrestre.

Devido à rotação da Terra, a energia média incidente no topo da atmosfera, por unidade de área e por unidade de tempo, é aproximadamente $1/4$ da constante solar. Além disso, a atmosfera reflete 39% da radiação, de forma que apenas 61% chega à superfície da Terra. Chamando E_z a energia média que chega perpendicularmente à superfície da Terra, por unidade de tempo e por unidade de área, temos:

$$E_z = 0,61 \cdot \frac{1}{4} \cdot 1367 W / m^2 = 208 W / m^2 \cong 750 kWh / m^2.$$

Em geral estamos interessados em conhecer a quantidade de energia por unidade de área e por unidade de tempo que chega em um determinado lugar da superfície da Terra, que chamamos **insolação** do lugar. A insolação varia de acordo com o lugar, com a hora do dia e com a época do ano.

Considerando que a quantidade de energia recebida em diferentes pontos da Terra é a mesma, a variação da insolação de um ponto para outro só vai depender da área sobre a qual essa energia se distribui, ou seja, vai depender da inclinação dos raios solares no lugar e data considerados.

Chamando de A a área sobre a qual a energia solar se espalha quando o Sol está a pino (figura 03.09 –



esquerda), e de A' a área sobre a qual a energia se espalha quando o Sol está a uma altura θ menor do que 90° (figura 03.09 – direita), a relação entre A e A' é:

$$A' = \frac{A}{\sin \theta}.$$

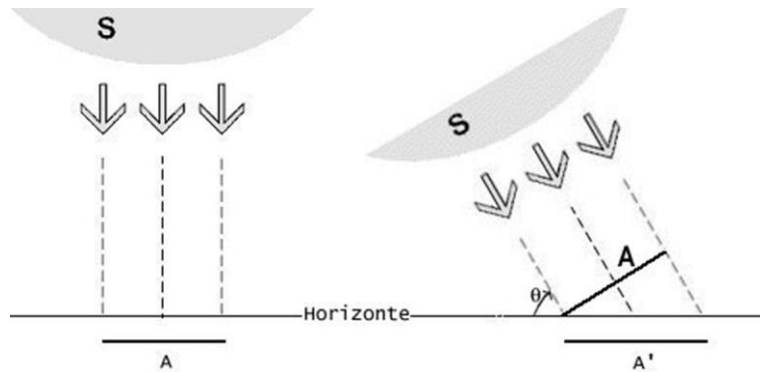


Figura 03.09: Um feixe de radiação incidindo perpendicularmente ao horizonte se distribui por uma área A ; quando o feixe incide inclinado de um ângulo θ , a área do horizonte interceptada por ele $A' = A / \sin \theta$.

Quando o Sol está a pino (no zênite, altura de 90°), a área sobre a qual a energia se espalha é mínima e a insolação é máxima. Quanto maior a inclinação dos raios solares, maior a área sobre a qual a energia se espalha e menor a insolação. Chamando de I_z a insolação de Sol a pino, e de I a insolação quando o Sol está a uma altura θ menor do que 90° , a relação entre I e I_z é:

$$I = I_z \sin \theta$$

Para Porto Alegre, cuja latitude é 30° , a altura máxima do Sol no Solstício de Verão (≈ 21 Dez) é $\theta_v = 83,5^\circ$, já que o Sol está a ($30^\circ \text{ lat} - 23,5^\circ \text{ decl.}$) $6,5^\circ$ do zênite ao meio-dia local.

Ao meio-dia, no Solstício de Inverno (≈ 21 Jun), a altura máxima do Sol é $\theta_i = 36,5^\circ$, já que o Sol está a ($30^\circ \text{ lat} + 23,5^\circ \text{ decl.}$) $53,5^\circ$ do zênite.

Desconsiderando, por enquanto, a variação da insolação solar devido à variação da distância da Terra ao Sol, isto é, considerando a energia do Sol no zênite (I_z) constante, a razão entre a insolação máxima no solstício de verão e a insolação máxima no solstício de inverno é:

$$I_v / I_i = I_z \sin \theta_v / I_z \sin \theta_i = \sin \theta_v / \sin \theta_i = 0,99 / 0,59 = 1,66$$

ou seja, a insolação em Porto Alegre é 66% maior no verão do que no inverno.

Em comparação, o efeito da variação da distância entre a Terra e o Sol pode ser calculado levando em conta que a energia do Sol por unidade de área que alcança a Terra é dada por:

$$E_z = \frac{E_\square}{4\pi D_{\square}^2},$$

onde D_{\square} é a distância da Terra do Sol no momento.

Insolação em Porto Alegre:

A insolação ao meio dia é 66% maior no solstício do verão do que no solstício de inverno.



Afélio:

Ponto da órbita de um planeta ou cometa em que sua distância ao Sol é máxima. A Terra alcança o afélio de sua órbita [no início de julho](#), e sua distância ao Sol nesse ponto é $\approx 152,1 \times 10^6$ km.

Periélio:

Ponto da órbita de um planeta ou cometa em que sua distância ao Sol é mínima. A Terra alcança o periélio de sua órbita [no início de janeiro](#), e sua distância ao Sol nesse ponto é $\approx 147,1 \times 10^6$ km.

A variação da insolação média na Terra entre o afélio e o periélio é de apenas 6%.

Ano sideral:

Período orbital da Terra tomando como referência as estrelas distantes.

Ano tropical:

Período orbital da Terra tomando como referência o equinócio de março.

Ano bissexto:

Instituído em 46 a.C. para aproximar melhor o ano do calendário do tempo gasto para a Terra dar uma volta completa ao redor do Sol, que é de aproximadamente 365,25 dias.

A variação da insolação solar devido à variação de 3% da distância Terra-Sol entre o afélio e o periélio é, portanto:

$$\frac{I_{\text{afélio}}}{I_{\text{periélio}}} = 0,97^2 = 0,94,$$

isto é, em janeiro (periélio), a insolação solar é 6% maior do que em junho (afélio). Este pequeno efeito é contrabalançado pela maior concentração de terra no hemisfério norte.

Além da insolação, a duração do dia, que é de 14h 10m no Solstício de Verão e 10h 10m no Solstício de Inverno, em Porto Alegre, contribui nas estações do ano.

Embora a órbita da Terra em torno do Sol seja uma elipse, e não um círculo, a distância da Terra ao Sol varia somente 3%, sendo que a Terra está mais próxima do Sol em janeiro. Mas é fácil lembrar que o hemisfério norte da Terra também está mais próximo do Sol em janeiro e é inverno lá, enquanto é verão aqui no hemisfério sul.

Ano e Calendário

Ao definir o ano como o tempo necessário para a Terra dar uma volta completa em torno do Sol, é necessário especificar o ponto de referência que está sendo usado para medir a completude da volta. Dependendo do ponto de referência tomado temos dois tipos de anos, com durações diferentes:

Ano sideral: é o tempo necessário para a Terra dar uma volta em torno do Sol tomando como referência uma estrela fixa. Tem duração de 365,2563 dias solares.

Ano tropical: é o tempo necessário para a Terra dar uma volta em torno do Sol tomando como referência o [ponto em que o Sol se encontra no equinócio de março](#), chamado ponto Áries ou ponto Gama ou ponto Vernal. Como [esse ponto se desloca lentamente](#) no sentido contrário ao do movimento anual do Sol, o ano tropical é 20,3 minutos mais curto do que o ano sideral, tendo duração de 365,2422 dias solares.

Nosso **calendário** é baseado no ano **tropical**.

1 ano tropical = 365 dias + 1 dia a cada 4 anos (bissexto) - 1 dia a cada 100 anos + 1 dia a cada 400 anos - 1 dia a cada 3.300 anos.

O ano bissexto foi instituído em 46 a.C. por Júlio Cesar, orientado pelo astrônomo Sosígenes, que estabeleceu o *Calendário Juliano*. Esse calendário adotava um ano de 365,25 dias, e foi usado durante 1 600 anos.

O calendário que usamos atualmente é *Calendário Gregoriano*, que foi estabelecido em 1578, pelo papa Gregório XIII, sob orientação do astrônomo Clavius. Usa um ano de 365,2425 dias, diferindo do ano tropical em 16 segundos, o que totaliza um dia em 3 300 anos.



Resumo

Movimento anual do Sol: reflexo do movimento de translação da Terra em torno do Sol.

Eclíptica: é a trajetória aparente do Sol no céu durante o ano, que é a projeção do plano orbital da Terra no céu. A eclíptica tem uma inclinação de $23^{\circ}27'$ em relação ao equador celeste; essa inclinação se chama obliquidade da eclíptica.

Equinócio de março ($\approx 20/03$): data em que o Sol cruza o equador celeste indo do hemisfério sul (HS) para o hemisfério norte (HN); na Terra, os raios solares incidem diretamente sobre o equador. No HS é equinócio de outono; no HN é equinócio de primavera.

Solstício de junho ($\approx 21/06$): data em que o Sol está na sua declinação máxima para o norte, incidindo diretamente no Trópico de Câncer. No HN é solstício de verão; no HS é solstício de inverno.

Equinócio de Setembro ($\approx 22/09$): data em que o Sol cruza o equador indo do HN para o HS. No HS é equinócio de primavera e no HN é equinócio de outono.

Solstício de Dezembro ($\approx 21/12$): data em que o Sol está na sua declinação máxima para o sul, incidindo diretamente no Trópico de Capricórnio, no HS é solstício de verão e no HN é solstício de inverno.

Estações do ano: São causadas pela variação do ângulo de incidência dos raios solares nas diferentes latitudes da Terra à medida que a Terra orbita o Sol, como consequência de da obliquidade da eclíptica ser diferente de zero.

A altura máxima que o Sol atinge durante o dia varia ao longo do ano, assim como a duração do tempo que o Sol fica acima do horizonte. Os pontos do horizonte em que o Sol nasce e se põe também variam ao longo do ano. Só nos equinócios o Sol nasce exatamente no ponto Leste e se põe no ponto Oeste.

Insolação solar: Quantidade de energia por unidade de área e por unidade de tempo que atinge a superfície da Terra num determinado local. Quanto mais vertical for a incidência dos raios solares, maior a insolação.

Ano sideral e ano tropical: o ano sideral toma como referência as estrelas distantes (fixas); o ano tropical toma como referência o ponto Áries (equinócio de março), e é um pouquinho mais curto do que o ano sideral. O ano que usamos no nosso calendário é o ano tropical.



Questões de fixação

1. Observando o Sol se pôr no horizonte, ao longo do ano, o que se nota a respeito do ponto onde ele se põe? (É sempre no mesmo lugar ou varia?) Em que ponto ele se põe nos equinócios?

2. O que é a eclíptica? O que é e quanto vale a obliquidade da eclíptica?

3. Qual a declinação do Sol nas seguintes datas:

a) equinócio de primavera e equinócio de outono no HS;

b) solstício de verão e solstício de inverno no HN;

4. Qual o dia mais longo do ano no HS? E no HN? Em que datas do ano o dia e a noite têm a mesma duração em toda a Terra?

5. Que estação é, no HN, quando o Sol está aumentando sua declinação (se afastando do equador) para norte? Nessa época no HS, os dias estão ficando mais longos ou mais curtos?

6. Em que lugares da Terra (em que latitudes) o Sol incide perpendicularmente ao meio-dia no solstício de verão do HN? E no Solstício do HS?

7. Quantas vezes por ano o Sol passa no zênite, ao meio dia, em lugares com latitude:

a) 0° ;

b) 15° ;

c) $23,5^\circ$;

c) 40° ;

8. Chamando "meio-dia" o instante em que o Sol atinge a máxima altura durante o dia, calcule a razão entre a insolação ao meio-dia no solstício de verão e a insolação ao meio-dia no solstício de inverno, para uma localidade:

a) no equador;

b) no trópico de Capricórnio

c) na borda do círculo polar antártico.

