

## A interação Sol - Terra: estações do ano

Desde a antiguidade o homem tem observado os movimentos do Sol e da Lua e, principalmente, seus efeitos sobre a vida aqui na Terra. Fenômenos como a mudança climática que chamamos de "estações do ano", a diferença no aspecto da Lua e os eclipses, capazes até mesmo de escurecer o dia, têm sido observados e descritos há muito tempo. Os homens mais curiosos, entretanto, nunca se satisfizeram apenas com a descrição destes fenômenos e sempre se perguntaram porque, e como, eles ocorriam. Muitos mitos e crenças se estabeleceram entre as civilizações devido ao não entendimento do que estava acontecendo. Até hoje, explicações erradas são dadas a estes fenômenos, algumas vezes até mesmo em livros didáticos. Vamos ver então quais são as explicações corretas sobre o que acontece no espaço capaz de provocar a ocorrência destes fenômenos.

### As estações do ano

Ao longo de um ano, e dependendo do local em que nos encontramos, existem sensíveis diferenças no calor que recebemos do Sol.

Convencionalmente dividimos o ano em quatro estações, cada uma delas representando o fato de que o nosso planeta está recebendo uma quantidade diferente de luz solar. Chamamos estas estações de verão, outono, primavera e inverno.

No entanto, a diferença entre estas estações é quase nula no equador e vai ficando cada vez mais pronunciada à medida que nos afastamos deste, tanto para o norte quanto para o sul. Assim, a cidade de Belém no estado do Pará tem mudanças climáticas bem diferentes de, por exemplo, Porto Alegre no Rio Grande do Sul.

Também sabemos que as estações no Hemisfério Norte são o oposto daquelas do Hemisfério Sul, ou seja, quando no Brasil é pleno verão a Europa está passando pela estação mais fria do ano.

Tendo estes fatos em mente podemos nos fazer a seguinte pergunta: como explicamos a existência das estações do ano?

A resposta da maioria das pessoas é de que as estações seriam o resultado da variação na distância entre a Terra e o Sol. De fato esta resposta parece razoável sendo bastante lógico esperar que seja mais frio quando a Terra está mais distante do Sol e mais quente quando a Terra se aproxima ao Sol. Os fatos, entretanto, mostram que esta explicação é errada.

No entanto, embora a órbita da Terra em torno do Sol seja uma elipse, sua distância ao Sol varia de apenas cerca de 3% ao longo de toda sua órbita. Esta diferença em distância, extremamente pequena, não é suficiente para causar variações significativas no aquecimento solar e, conseqüentemente, levar às diferenças drásticas que notamos entre inverno e verão como as observadas, por exemplo, em Porto Alegre.

Assim, não é verdade que o afastamento da Terra em relação ao Sol ao longo de um ano seja o responsável pelas estações do ano.

Tem ainda um outro problema fundamental nesta hipótese: se a distância ao Sol fosse a única responsável pelas diferentes estações então para uma pessoa em Porto Alegre a Terra estaria mais próxima do Sol em Janeiro. Neste exato momento, entretanto, uma pessoa em New York está no auge do inverno quando, segundo nossa hipótese, o Sol deveria estar mais longe.

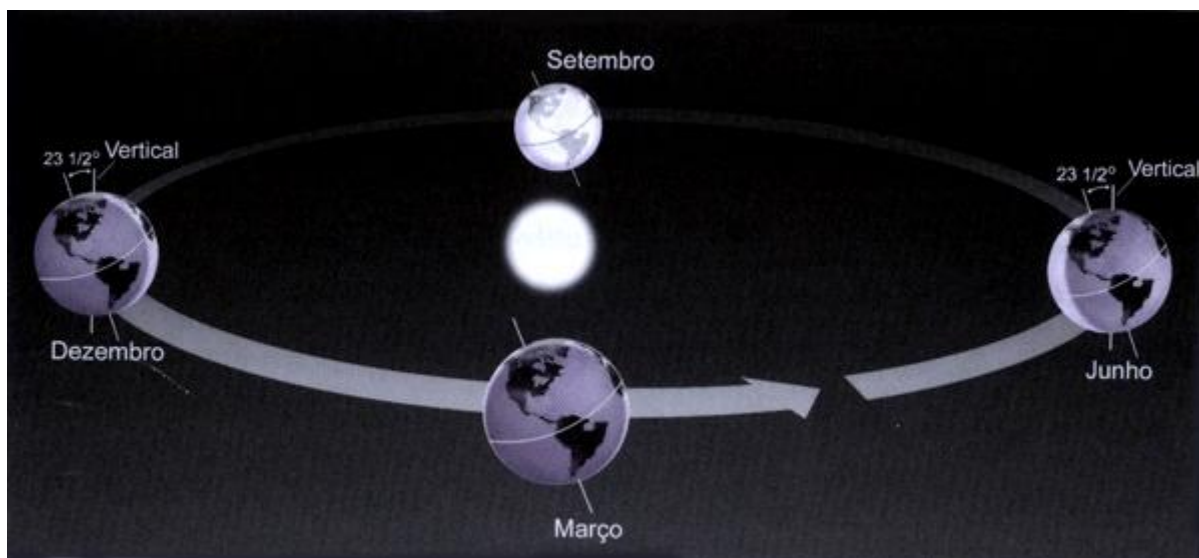
Chegamos, então, a um paradoxo: como pode a Terra estar simultaneamente mais distante e mais próxima do Sol?

Por outro lado se a distância ao Sol fosse o único fator governando a ocorrência das estações do ano porque motivo os dois hemisférios da Terra teriam estações opostas? Deveríamos ter inverno, ou verão, ao mesmo tempo em todas as regiões da Terra, o que sabemos que não acontece.

Como veremos a seguir a responsabilidade da ocorrência das estações do ano devem ser atribuídas à inclinação de 23,45 graus que o eixo de rotação da Terra faz com o plano ao longo do qual ela realiza seu movimento em torno do Sol, o plano da eclíptica.

### As estações do ano e a iluminação solar

Uma forma equivalente de ver o movimento da Terra ao redor do Sol é supor que o Sol gire em torno da Terra no intervalo de tempo de um ano, ao longo de um grande círculo denominado eclíptica. Na figura abaixo vemos o movimento da Terra em torno do Sol.



Note que o eixo de rotação da Terra é inclinado de 23,45 graus em relação à vertical do plano que define o movimento da Terra ao redor do Sol, ou seja, o plano da eclíptica.

O equador, conseqüentemente, sendo definido como o grande círculo perpendicular ao eixo de rotação, também se encontra inclinado com relação a este plano.

Esta inclinação é o que nos dá as quatro estações do ano: verão, outono, inverno e primavera.

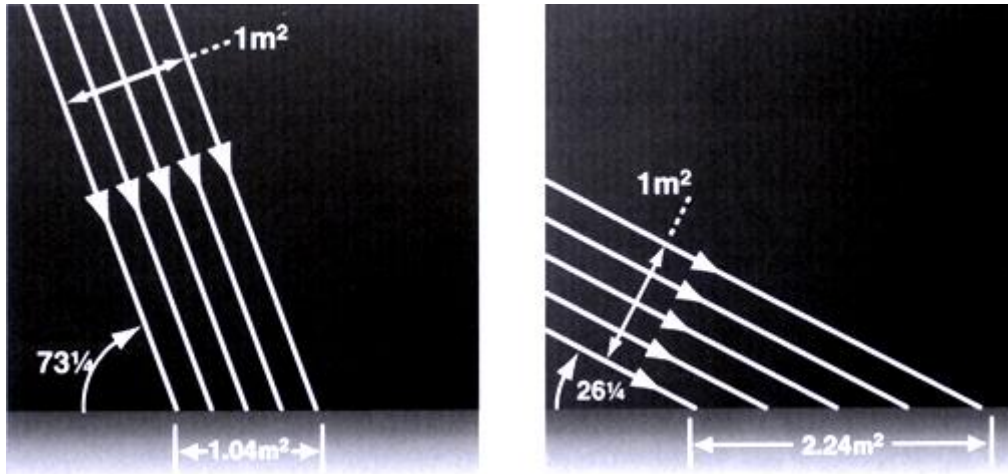
Uma vez que o eixo de rotação da Terra está inclinado, partes diferentes do globo terrestre estão orientadas na direção do Sol em épocas diferentes do ano.

Isto afeta a quantidade de luz solar que cada parte do globo terrestre recebe.

Na medida que a Terra gira em torno do Sol os dois hemisférios se encontram, ou não, diretamente iluminados pelo Sol. Por exemplo: em junho o hemisfério norte parece estar se inclinando na direção do Sol enquanto que o hemisfério sul parece estar se afastando do Sol. Neste momento o hemisfério norte recebe iluminação mais direta do Sol. Em dezembro a situação se inverte: o hemisfério sul se inclina na direção do Sol recebendo iluminação mais direta enquanto o hemisfério norte está mais afastado. Em setembro e março os dois hemisférios recebem iguais quantidades de iluminação solar.

Mas, de que modo a iluminação direta do Sol favorecendo um hemisfério se traduz em torná-lo mais quente para nós aqui na superfície da Terra?

Existem dois efeitos que devem ser levados em consideração. Quando estamos nos inclinando na direção do Sol a luz solar nos chega num ângulo mais direto sendo mais eficiente em aquecer a superfície, como mostra a figura.



Você obtém um resultado similar quando projeta a luz de uma lanterna numa parede. Se você projeta a luz da lanterna diretamente na parede você obtém um círculo intenso de luz na parede. Mas se você projeta a luz da lanterna num ângulo em relação à parede, então, o círculo de luz na parede aumenta em tamanho mais diminui em intensidade. Da mesma forma, no hemisfério sul a luz do Sol é mais direta em dezembro e, portanto, mais eficiente em aquecer a superfície. O contrário acontece em junho.

O segundo efeito tem a ver com o intervalo de tempo que o Sol passa acima do horizonte. Não precisa ser um grande observador para constatar que os dias são mais longos no verão do que no inverno. Portanto o que ocorre é que no verão não apenas a iluminação do Sol é mais direta, mas também se estende por um tempo maior. Na figura abaixo podemos ver como isto ocorre.



Assim, o verão é mais quente do que o inverno, em cada hemisfério, porque os raios do Sol alcançam a Terra em um ângulo mais direto durante o verão do que durante o inverno e **também por que** os dias são muito mais longos do que as noites durante o verão.

Durante o inverno, os raios do Sol alcançam a Terra em um ângulo extremo e os dias são muito curtos.

Lembre-se: os dois efeitos que causam as estações do ano são devidos à inclinação do eixo de rotação da Terra. Esta inclinação é o que nos dá as quatro estações do ano, verão, outono, inverno e primavera. Uma vez que o eixo é inclinado, partes diferentes do globo terrestre estão orientadas na direção do Sol em diferentes épocas do ano.

## **As estações do ano a diferentes latitudes**

Os efeitos das estações do ano são distintos a diferentes latitudes. Esta é a razão pela qual no Rio de Janeiro quase não notamos a diferença entre verão, outono, inverno e primavera enquanto que em Porto Alegre esta diferença é enorme.

Próximo do equador, na cidade de Natal por exemplo, todas as estações são iguais, ou seja, verão! Lá a cada dia do ano o Sol está acima do horizonte sempre por 12 horas. Nestas localidades a variação das estações é representada mais pela quantidade de chuva do que pela de iluminação solar. Na medida que caminhamos na direção sul (ou norte) as estações se tornam mais pronunciadas até chegarmos aos extremos da Antártica (ou Ártico) onde temos seis meses durante os quais o Sol está durante 24 horas acima do horizonte e outros seis meses durante o qual é noite contínua.

Tudo o que foi dito acima não é bem rigoroso e somente o seria no caso de não existir a atmosfera terrestre. Mesmo depois que o Sol se pos, alguma luz solar ainda é recebida pelo observador, espalhada e refletida pela atmosfera da Terra.

Assim, a atmosfera da Terra tem o curioso efeito de nos permitir ver um pouco abaixo do horizonte.

Este efeito é resultado da refração, ou seja, à modificação na trajetória da luz quando ela realiza sua passagem através de meios de densidade distinta.

Devido à refração atmosférica o Sol parece se levantar mais cedo e se pôr mais tarde.

Além disto, a atmosfera espalha a luz e permite alguma iluminação crepuscular mesmo quando o Sol se encontra abaixo do horizonte. À medida que o Sol desce mais abaixo do horizonte, a intensidade desta luz diminui. O fenômeno é chamado de crepúsculo.

Os astrônomos, por exemplo, definem três tipos de crepúsculo:

### **crepúsculo civil:**

O crepúsculo civil é dito terminar quando o centro do Sol está  $6^\circ$  abaixo do horizonte.

### **crepúsculo náutico:**

O crepúsculo náutico termina quando o centro do Sol está  $12^\circ$  abaixo do horizonte.

### **crepúsculo astronômico:**

O crepúsculo astronômico termina quando o centro do Sol está  $18^\circ$  abaixo do horizonte.

Estes pequenos efeitos atmosféricos implicam em correções no que foi dito acima com respeito às estações do ano. Nos equinócios, por exemplo, o Sol aparece acima do horizonte alguns minutos além das 12 horas. Do mesmo modo ele fica abaixo do horizonte alguns minutos a mais sem completar as 12 horas.

Estes efeitos se tornam mais dramáticos nos pólos quando o Sol se levanta quase uma semana antes de atingir o equador celeste.

Além disto, devido ao crepúsculo o período de verdadeira escuridão se estende por apenas três meses e não seis.

Finalmente, como todos sabem, no hemisfério Sul o dia 22 de dezembro não é o mais quente do verão, o calor mesmo acontece em meados de janeiro e início de fevereiro. Isto ocorre porque o clima depende também do ar e da água que cobrem a superfície da Terra e estes grandes reservatórios não aquecem instantaneamente. Assim como a água de uma piscina não aquece no momento em que o Sol se levanta mais apenas na parte da tarde, após o Sol tê-la esquentado durante várias horas, a Terra também se torna mais quente somente após ter absorvido uma quantidade extra de luz solar. Analogamente, no inverno o máximo de frio acontece cerca de um mês após o solstício de inverno.