

REFLEXÕES SOBRE COMO ENSINAMOS AS "ESTAÇÕES DO ANO"

Ramachrisna Teixeira¹, Danilo Miranda Rodrigues¹, Letícia Lanza², João Paulo Delicato¹, Messias Fidêncio Neto¹, Michel Paschini Neto³

¹ Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG-USP

² Instituto de Física, IF-USP

³ Universidade Metodista, UNIMEP-Piracicaba

I. Estações do ano: algo de novo?

As alternâncias cíclicas de variáveis meteorológicas (temperatura, índice pluviométrico, etc.) e da vegetação, entre outras, facilmente observáveis em muitas regiões da Terra, sempre marcaram a vida do Homem civilizado. Com observações atentas, sistemáticas e cuidadosas, há muito tempo pôde associar esses fenômenos às mudanças de posição do Sol em relação às estrelas, isto é, à posição que ocupa em sua trajetória anual aparente ao redor da Terra (ponto de vista geocêntrico) e, posteriormente, à posição da Terra em seu movimento em torno do Sol (ponto de vista heliocêntrico).

A partir de muitas observações, foi possível compreender e explicar esses fenômenos celestes, inicialmente de um ponto de vista geocêntrico quando nem se suspeitava que a distância Terra-Sol era variável. A explicação fornecida, corretamente, baseava-se na inclinação da trajetória do movimento anual aparente do Sol (eclíptica) em relação ao equador celeste (movimento aparente das estrelas de leste para oeste — rotação). As esferas e os movimentos circulares e uniformes do principal modelo de Universo dos gregos antigos tornavam, entretanto, essa explicação incompleta e imperfeita.

Há pouco mais de 400 anos, a ideia de que a Terra se movimenta no espaço se incorporou

ao conhecimento. Apesar da órbita elíptica com o Sol em um de seus focos, o Homem continuou, corretamente, associando essas alternâncias cíclicas observadas na natureza não à variação da distância Terra-Sol, mas sim à inclinação do movimento orbital do nosso planeta (movimento de translação) em relação à sua rotação, além de outros fatores locais ou globais no caso das variáveis meteorológicas.

Apesar do tema estações do ano estar, de maneira recorrente, presente nas aulas de ciências e de geografia, nos respectivos livros didáticos, em livros de Astronomia, em textos acadêmicos voltados para ensino de Astronomia, em um grande número de textos na internet e na mídia em geral, não é raro nos depararmos com problemas relacionados a uma má compreensão desse fenômeno ou a uma simplificação um tanto descuidada em sua abordagem.

Um erro grosseiro, mas felizmente, não mais tão presente, sobretudo no ambiente escolar, é pensar que as variações sazonais do padrão meteorológico e as estações do ano são consequências da maior ou menor aproximação da Terra ao Sol ao longo do ano. Esse erro foi tratado de forma magistral em um texto inspiradíssimo do Prof. Rodolpho Caniato, "Joãozinho da Maré", que pode ser facilmente encontrado.

Por outro lado, embora este erro grosseiro esteja menos presente, existem ainda incorre-

ções, equívocos sutis ou simplesmente abordagens que induzem a erros e que estão se perpetuando.

Dada a importância e a riqueza desse tema de base, convidamos o leitor a refletir sobre a definição das estações do ano, que nos parece confusa, sobre sua causa, em geral muito mal ou erroneamente explicada, suas representações através de figuras que podem induzir a erros e suas durações em geral ignoradas ou abordadas com erros.

II. Estações do ano: o que são?

É muito comum quando tratamos desse tema, pensarmos e falarmos em termos de fenômenos meteorológicos e de paisagem. Embora possamos nos deparar com exceções, investe-se muito pouco no conceito de insolação, na variação de sua intensidade e em alguns outros eventos marcantes associados às estações do ano: duração do dia e da noite, nascer e ocaso do Sol, altura máxima do Sol, etc. Pior ainda, raras vezes nos perguntamos o que são as estações do ano. As estações do ano são as alterações cíclicas das variáveis meteorológicas ou regimes distintos da incidência da radiação solar em nosso planeta?

Fica bastante confuso definirmos ou colocarmos quase que exclusivamente o foco desse tema nas alterações das variáveis meteorológicas, grosseiramente periódicas e dependentes de muitos outros fatores e depois, encaixá-las em intervalos de tempo muito bem definidos, que a Terra gasta para percorrer trechos entre pontos notáveis de sua órbita.

Os intervalos de tempo com padrões meteorológicos relativamente distintos não têm a mesma duração em todas as regiões da Terra, não iniciam e nem terminam em datas precisamente definidas e nem mesmo são necessariamente

amente em número de 4.

Assim, diferentemente dos dias, dos anos, dos solstícios e dos equinócios as alterações das variáveis meteorológicas, embora periódicas, não definem ciclos precisos. Em outras palavras, as estações do ano, digamos, astronômicas, definidas em função dessas 4 posições notáveis que a Terra ocupa em seu movimento orbital (solstícios e equinócios) não coincidem necessariamente com o início e término de um determinado padrão meteorológico. Portanto, a tentativa de encaixar esses padrões em intervalos muito bem definidos por fenômenos naturais, deslocamento da Terra entre solstícios e equinócios, não é possível e nem seguida por todos os povos.

Convenções foram adotadas seguindo a definição astronômica em alguns casos e em outros, voltando-se para o padrão meteorológico local. Temos países onde as estações em número de 4 têm início e fim em datas distintas daquelas que utilizamos no Brasil, não correspondem aos solstícios e equinócios. Em alguns, os solstícios e equinócios são aproximadamente, instantes médios das estações e assim por diante.

Como consequência dessa “indecisão” ou “liberdade” em sua definição acabamos encontrando frases como: há lugares que as estações do ano são mal definidas; as estações do ano estão alteradas; no inverno faz frio e no verão faz calor como se fosse uma regra para todos os lugares. Claro que isso não está errado quando estamos pensando nas variações dos padrões meteorológicos em determinados lugares, mas querer encaixar isso em uma definição astronômica não é possível e gera confusão.

Em resumo, a correspondência entre as estações do ano e as alterações cíclicas das variáveis meteorológicas, mesmo onde essas ocorrem de forma marcante, é grosseira. Assim, apesar de sua grande importância, como o início e a dura-

ção de um ciclo com determinado padrão meteorológico é bastante incerto devido ao grande número de variáveis envolvidas, parece-nos fundamental investir em outras direções ou, pelo menos, também em outras direções. Em particular, o cenário no Brasil ajuda muito pois as estações do ano são definidas, ou pelo menos anunciadas na mídia e nas escolas, do ponto de vista astronômico, iniciam e terminam nos solstícios e equinócios, muito embora, em diferentes regiões as palavras inverno, verão, etc., possam representar condições meteorológicas distintas.

Do ponto de vista astronômico existem quatro estações que correspondem a quatro regimes distintos de insolação pelos quais passa a Terra ao longo de um ano. Em outras palavras, quatro intervalos de tempo, não idênticos, gastos para a Terra percorrer ao longo do ano, de forma intercalada, o trajeto entre dois de quatro pontos notáveis, não únicos, de sua órbita: 2 equinócios e 2 solstícios. Nesses intervalos a diferença de insolação total entre os dois hemisférios da Terra apresenta características distintas (veja abaixo).

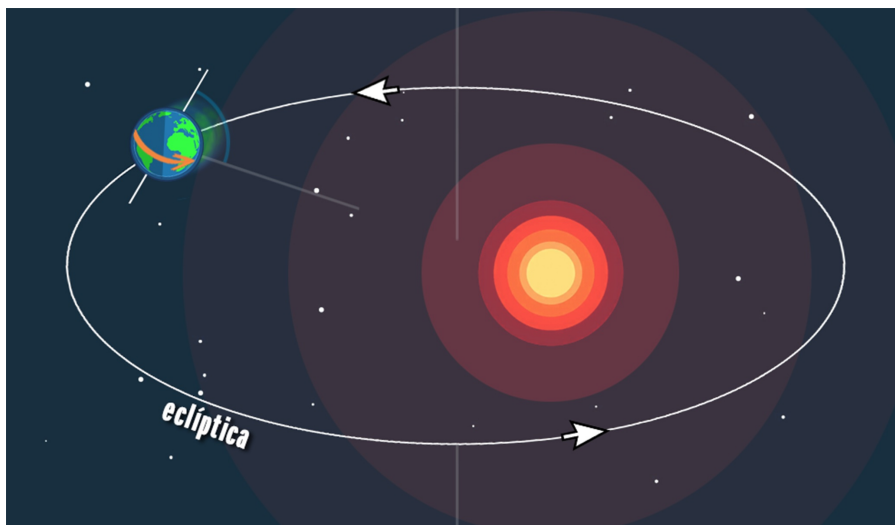


Figura 1 – Representação da Terra em uma posição qualquer de seu movimento orbital, ilustrando a maneira equivocada frequentemente utilizada para explicar as estações do ano: inclinação do eixo de rotação em relação ao plano da eclíptica.

Os equinócios e solstícios são pontos notáveis justamente por sinalizarem quando a insolação total nos dois hemisférios da Terra é a mesma (equinócios) e quando a insolação total em um hemisfério é máxima ou mínima (solstícios).

A partir dessa visão, podemos, então, explicar por que a insolação total se altera ao longo do ano, e não será difícil perceber esse ciclo e discutir suas consequências aqui na Terra: alterações nos padrões meteorológicos, na paisagem, na agricultura, na duração do dia e da noite, nos pontos de nascer e ocaso do Sol, na altura máxima que o Sol alcança a cada dia, na configuração do céu noturno, etc. Certamente, no caso do padrão meteorológico, com ênfase deve-se

Definições astronômicas para as estações do ano

Primavera — diferença de insolação total entre os dois hemisférios positiva e crescente. Inicia-se no equinócio dito de Primavera (diferença de insolação zero) e termina no solstício de verão (diferença de insolação máxima);

Verão — diferença de insolação positiva e decrescente. Inicia-se no solstício de verão e termina no equinócio de outono (diferença de insolação zero);

Outono — diferença de insolação negativa e decrescente. Inicia-se no equinócio de outono e termina no solstício de inverno (diferença de insolação mínima);

Inverno — diferença de insolação negativa e crescente. Inicia-se no solstício de inverno e termina no equinócio de primavera.

mostrar que depende também, de muitos outros fatores: correntes oceânicas, correntes atmosféricas, latitudes, relevos locais, efeito estufa, etc.

Não se trata aqui de redefinirmos estações do ano, mas sim de trabalharmos com uma definição que facilite a compreensão daquilo que queremos descrever: *as estações do ano correspondem a quatro períodos de insolação distintos pelos quais passa a Terra ao longo de um ano e são consequência da inclinação entre seus movimentos de rotação e de translação.*

Notemos que desse ponto de vista, em todas as regiões da Terra, teremos quatro estações do ano com datas precisamente definidas para seus inícios e términos. Por outro lado, suas consequências não serão sentidas da mesma maneira em todo lugar e sobretudo, dependerão fortemente da latitude em que nos encontramos.

III. Estações do ano: por que ocorrem?

Outro aspecto, agora relacionado às suas causas e que parece ser uma preocupação grande, principalmente de quem está trabalhando na área de ensino de Astronomia ou escrevendo textos com um cuidado maior do que aquele habitual, é realçar que as estações do ano não dependem da distância Terra-Sol.

Entretanto, muitas vezes encontramos um complemento onde é sugerido que a distância não explica as estações do ano pois a diferença da distância Terra-Sol quando a Terra está no afélio (ponto de maior afastamento entre a Terra e o Sol) e no periélio (ponto de maior aproximação

entre a Terra e o Sol) é desprezível. Quando levamos alguém a pensar dessa forma, estamos induzindo-a a acreditar que se essa diferença fosse maior ela explicaria as estações do ano. Claro, isso é um erro induzido pela maneira como negamos a relação distância-estações do ano. Mesmo que a excentricidade da órbita da Terra fosse grande, a causa das diferenças de insolação entre os dois hemisférios ao longo do ano continuaria sendo a inclinação entre a rotação e translação da Terra, muito embora, nesse caso, as consequências pudessem ser muito diferentes do que são.

É a inclinação entre os movimentos de rotação e de translação que define a diferença variável ao longo do ano, de insolação total entre os dois hemisférios da Terra. Uma maior excentricidade alteraria as durações das estações, como veremos mais adiante, e também, a intensidade da insolação nos dois hemisférios, mas não os regimes distintos das diferenças de insolação total entre os dois hemisférios.

Por outro lado, mais importante ainda, é muito comum nos depararmos com a ideia de que a causa das estações do ano, com uma ou

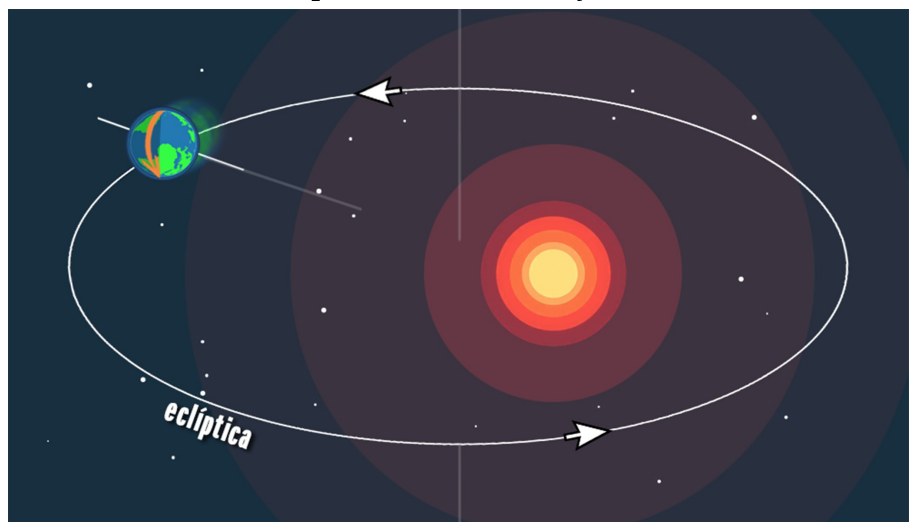


Figura 2 – Representação da Terra em uma posição qualquer de seu movimento orbital com seu eixo de rotação sem inclinação em relação à eclíptica, deixando claro que ao contrário do que a definição equivocada ressaltada acima sugere, neste caso teremos sim estações do ano.

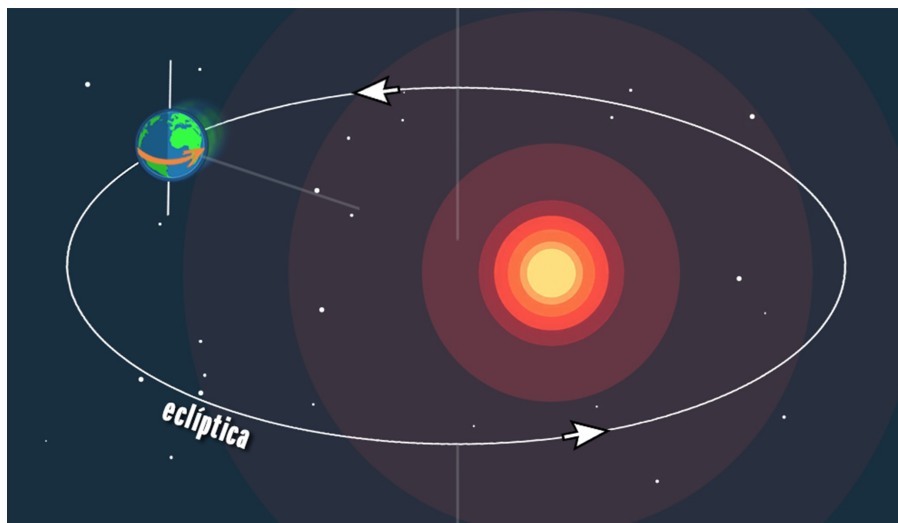


Figura 3 – Representação da Terra em uma posição qualquer de seu movimento orbital com seu eixo de rotação perpendicular à eclíptica, deixando claro que ao contrário do que a definição equivocada ressaltada acima sugere, neste caso não teremos estações do ano.

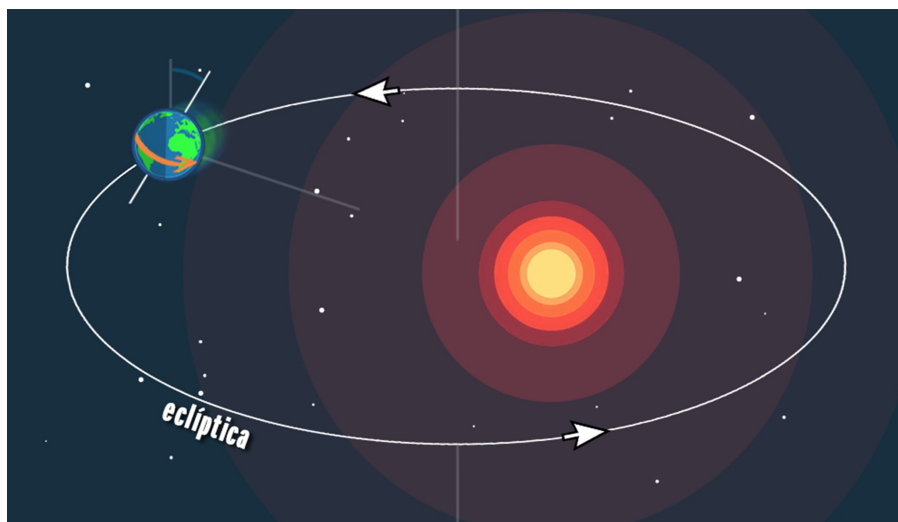


Figura 4 – Representação da Terra em uma posição qualquer de seu movimento orbital assinalando a inclinação de seu eixo de rotação em relação à normal à eclíptica (eixo de translação) como deve ser considerado quando discutimos a causa das estações do ano.

Terra ao redor do Sol.

Essa e todas as demais figuras utilizadas para ilustrar essas reflexões encontram-se totalmente fora de escala, incluindo a excentricidade da órbita e representam uma visão grosseira do sistema Terra-Sol em perspectiva.

Estando atento, não será difícil perceber que explicar as estações do ano como consequência da inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao plano de sua órbita ao redor do Sol (eclíptica) nos leva às seguintes conclusões:

- Se o eixo de rotação da Terra não estiver inclinado (Figura 2) em relação ao plano da órbita, não teremos estações do ano.
- Se o eixo de rotação da Terra fosse perpendicular ao plano da órbita, portanto a 90° em relação à eclíptica (Figura 3), deveríamos ter estações do ano extremas.

outra variante, é a inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao plano de sua órbita ou mais simplificada, em relação à eclíptica (Figura 1).

A Figura 1 ilustra o que comumente encontramos para explicar as estações do ano. Chamamos a atenção para a medida da inclinação do eixo de rotação em relação ao plano da órbita da

Na realidade, como sabemos, o que ocorre é exatamente o inverso. Se a Terra tivesse seu eixo de rotação no plano da órbita, inclinação nula em relação à eclíptica, como é aproximadamente o caso do planeta Urano, teríamos estações do ano e, neste caso, com diferenças extremas de insolação entre os solstícios de verão e de inverno. Por outro lado, se seu eixo de rotação fosse perpendicular ao

plano da órbita, 90° em relação à eclíptica, como é aproximadamente o caso de Júpiter, simplesmente não teríamos estações do ano.

Onde está o “erro”? As estações do ano ocorrem devido à inclinação entre os movimentos de rotação e de translação. Assim, se falamos do eixo de rotação (definido pelo momento angular do movimento de rotação), temos que relacioná-lo com o “eixo da translação” (definido pelo momento angular do movimento orbital da Terra: translação), ou seja, com a direção da normal ao plano da órbita terrestre como ilustrado na Figura 4. Por outro lado, se quisermos falar do plano ou da trajetória do movimento de translação (eclíptica), neste caso, teremos que relacioná-lo com o equador (plano da rotação) e não com o eixo da rotação terrestre. No mínimo, se quisermos manter a relação eixo com plano temos que ser mais cuidadosos e nos expressarmos de outra forma.

Assim, se o eixo de rotação da Terra fosse perpendicular à eclíptica (Figura 3) teríamos que sua inclinação em relação ao “eixo da translação” ou à normal a eclíptica, seria zero. Os planos do equador e da eclíptica coincidiriam. Neste caso, não teríamos, portanto, estações do ano.

Por outro lado, quando o eixo de rotação estiver no plano da eclíptica (Figura 2), significa que equador e eclíptica, ou eixos da rotação e da translação, são perpendiculares entre si, e, portanto, ao contrário do que muitas vezes somos induzidos a pensar, teremos sim estações do ano, com invernos e verões extremos.

Dois maneiras que nos parecem simples e claras de explicar esse fenômeno é dizer: as estações do ano ocorrem devido à não co-

incidência dos planos da rotação (equador) com o plano da translação (eclíptica) ou devido à não perpendicularidade do eixo de rotação da Terra em relação ao plano de sua órbita (eclíptica).

IV. Estações do ano: representação gráfica

Outro problema sutil que pode ser facilmente encontrado diz respeito à representação do movimento da Terra ao redor do Sol com o intuito de explicar as estações do ano. Trata-se de uma simplificação que induz o leitor a erros,

Uma representação da órbita terrestre circular com o Sol no centro tem a vantagem de diminuir essa “crença” de que as estações do ano ocorrem devido à alteração da distância Terra-Sol. Por este motivo, esse caminho tem sido aconselhado por muitos colegas como mais adequado do ponto de vista didático. O fato de a excentricidade da órbita terrestre ser muito baixa, também reforça a utilização da circunferência.

Entretanto, embora compreendendo essa sugestão, acreditamos que como trabalhamos com a noção de que a órbita da Terra é uma elipse com o Sol em um dos focos, a utilização da e-

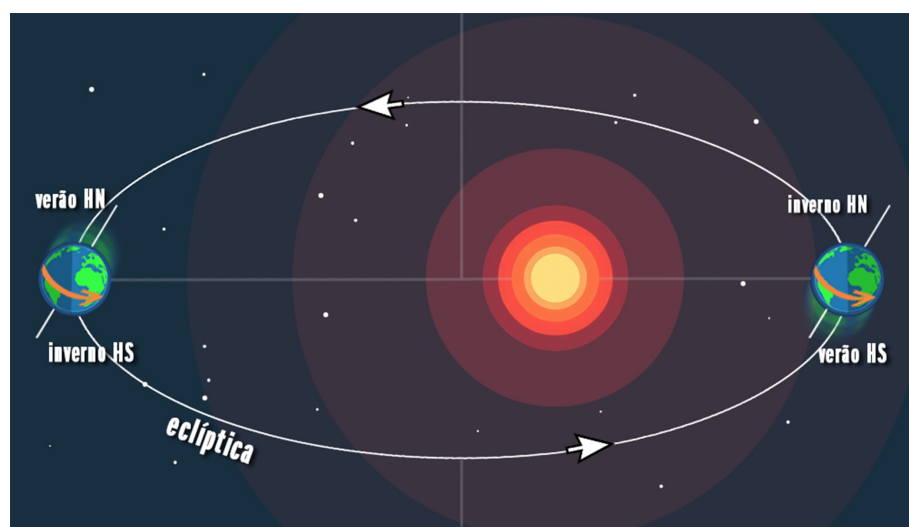


Figura 5 – Representação das posições da Terra nos supostos instantes de início de verão/inverno em determinado hemisfério como assinalado na figura.

lipse para representá-la é mais coerente, nos aproxima da realidade e se torna mais interessante, rica e atraente. Essa figura geométrica é menos comum, deve aguçar a curiosidade, sua construção é mais complexa e deve gerar mais discussões, inclusive a respeito da maneira prática de traçá-la. Além disso, diante da realidade atual das pesquisas em Astronomia, onde já nos deparamos com a descoberta de milhares de exoplanetas e inúmeros outros corpos do Sistema Solar, com órbitas para todos os gostos, talvez seja preferível trabalharmos com uma órbita mais genérica, elipse, do que com um caso particular, circunferência.

Em todo caso, mesmo considerando a órbita da Terra ao redor do Sol como circular, na representação em perspectiva o que se vê é uma elipse. Assim, de uma forma ou de outra, encontrarmos uma elipse representando a órbita da Terra com o Sol em um dos focos, e nesses casos, o problema é que quase sempre a Terra no início do verão e do inverno encontra-se posicionada nos vértices da elipse, o que coincide com a maior ou menor aproximação Terra-Sol (Figura 5). Note como esta figura induz um leitor menos atento a associar verão/inverno com a distância Terra-Sol. Certamente, o Sol no centro seria uma solução, a nosso ver menos adequada e em todo caso não única, para esse problema.

Portanto, dessa forma, além de induzir o leitor descuidado ao erro de associar esses instantes à distância Terra-Sol, perde-se uma boa ocasião de se aproximar da realidade. O verão no hemisfério sul, por exemplo, tem início por volta do dia 21 de dezembro enquanto que a Terra passa pelo periélio em 4 de janeiro. Como consequência, nos aproximaremos mais da realidade com uma representação como sugerida na Figura 6. Essa figura tem ainda a vantagem de fugir do que se espera levando assim

a questionamentos. Como se pode ver, a Terra é mostrada em algumas posições ao longo de sua órbita (pontos notáveis — solstícios e equinócios), diferentes daquelas, usualmente utilizadas, que correspondem grosseiramente ao início das estações como indicado. Nessa representação, a Terra encontra-se exagerada e intencionalmente fora dos vértices. Esses pontos correspondem, como assinalado, à posição da Terra nas datas aproximadas dos inícios de cada estação para 2019.

É também interessante sempre assinalar nessas figuras o início das estações nos dois hemisférios de tal forma que o leitor perceba algo de diferente do que esperaria encontrar. Em outras palavras, seria informado, uma vez mais, que quando é inverno em um hemisfério temos verão no outro e vice-versa. Um tom mais claro na porção da Terra voltada para o Sol, ajuda a percepção das diferentes intensidades de insolação em cada hemisfério ao longo das estações.

V. Todas elas têm a mesma duração?

As estações do ano do ponto de vista astronômico iniciam-se em “pontos notáveis” da órbita terrestre: nos equinócios e solstícios. Como o módulo da velocidade da translação da Terra é variável, maior no periélio e menor no afélio, o intervalo de tempo entre esses eventos não é o mesmo. Por exemplo, a Terra levará um tempo menor para percorrer o trecho entre o solstício de verão e equinócio de outono para o hemisfério sul (trecho mais próximo ao periélio) do que entre o solstício de inverno ao equinócio de primavera, trecho mais próximo ao afélio (Figura 6). Em resumo, para o hemisfério sul, o intervalo de tempo gasto entre o equinócio de primavera e de outono, trecho que contém o solstício de verão e o periélio, é menor que aquele entre o equinócio de outono e de primavera, tre

cho que contém o solstício de inverno e o afélio. Ou seja, as durações do outono e inverno são maiores que aquelas da primavera e verão no caso do hemisfério sul. Naturalmente, para habitantes do hemisfério norte temos o inverso.

Assim, embora a variação da distância Terra-Sol não explique as estações do ano, ela as influencia definindo, por exemplo, suas durações.

Ainda com relação ao início das estações cabe outra reflexão quase nunca explorada, mas muito presente nos pensamentos e nas indagações de alunos, professores e público em geral: por que, por exemplo, o solstício de verão define o início dessa estação e não o seu, digamos, ponto médio? Ou, desprezando-se as pequenas diferenças nas durações das estações, o que difere a primavera do verão?

Como foi dito, o início das estações do ano na sociedade civil é uma convenção e cada sociedade pode ter a sua. Em Astronomia, é diferente e não depende do país ou do povo. Assim, embora do ponto de vista da diferença da intensidade total de insolação em ambos hemisférios a primavera e o verão sejam praticamente simétricos, do ponto de vista dos movimentos e de suas consequências não são. Por exemplo, durante a primavera em um certo hemisfério a insolação é crescente atingindo um máximo no

solstício de verão. Já no verão, a insolação é decrescente. Onde as alternâncias das variáveis meteorológicas acompanham mais de perto as estações do ano, o verão será mais quente que a primavera pois inicia-se depois de um período onde o respectivo hemisfério já foi mais aquecido por uma incidência da radiação solar crescente.

Os instantes em que se iniciam as estações são em geral ignorados, mas não pela mídia. Isso é uma pena, pois discuti-los nos leva a falar da diferença entre ano civil e ano das estações. Temos um tema riquíssimo nas mãos e em geral esquecido, inclusive do ponto de vista cultural e histórico, como consequência de seu vínculo com muitas datas festivas e religiosas que ainda comemoramos.

Como sabemos, de um ano para o outro, o instante de início e/ou término de uma determinada estação varia de pouco menos de 6 horas. Isso se deve ao fato de que o ano das estações, ligado ao Sol, tem aproximadamente 365 dias e 6 horas, enquanto que o ano civil (ano do calendário), convencional, tem a-

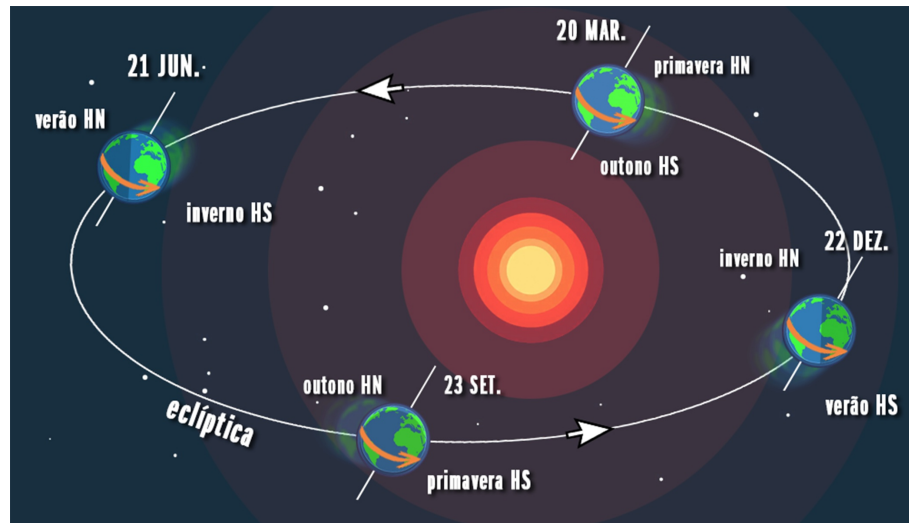


Figura 6 – Representação das posições da Terra na eclíptica nos instantes aproximados para 2019 do início das estações do ano: solstícios e equinócios.

Início e duração das próximas estações do ano

Outono: 20 de março de 2019, às 18:58	(92,7 dias)
Inverno: 21 de junho de 2019, às 12:54	(93,7 dias)
Primavera: 23 de setembro de 2019, às 04:50	(89,8 dias)
Verão: 22 de dezembro de 2019, às 01:19	(89,0 dias)

penas 365 dias e mais ou menos a cada 4 anos 366 dias (ano bissexto). Assim, um ano civil normal irá começar aproximadamente 6 horas antes do ano das estações, isso significa que os instantes de início das estações ocorrerão aproximadamente 6 horas mais tarde que no ano anterior. A cada quatro anos, essa defasagem é compensada com a introdução de mais um dia no calendário.

VI. Finalmente...

Chamamos a atenção e discutimos alguns aspectos relacionados com a definição, explicação e a caracterização das estações do ano. São aspectos que trazem consigo incorreções que se tornam mais relevantes tendo em vista a frequência com que aparecem. De maneira mais geral, essas considerações devem nos a-

lertar e nos levar a refletir sobre as diferenças ou sobre a fidelidade entre o conhecimento científico e aquilo que circula.

As estações do ano constituem um tema bastante rico que pode e deve ser abordado e explorado de forma mais cuidadosa e demorada do que aquela que temos visto. Sua boa compreensão está ao alcance de todos. Incorreções como essas em muitos outros domínios podem existir também, e neste sentido deixamos o alerta para que estejamos sempre atentos mesmo quando o tema abordado seja “muito bem conhecido”. ■

Agradecemos ao Divulgador e Youtuber Schwarza do canal Poligonautas pelas figuras e aos Professores Drs. Mauro Carlos Romanatto e Roberto Boczko pelas sugestões e encorajamento.

