INTRODUÇÃO ÀS CIÊNCIAS FÍSICAS 1

Jose Adolfo S. de Campos

Módulo 3

Volume 3 – 5ª edição

Fundação CECIERJ
Consórcio cederj

Fundação CECIERJ

Consórcio cederj

Centro de Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro

Introdução às Ciências Físicas 1

Volume 3 – Módulo 3
5ª edição

Jose Adolfo S. de Campos

GOVERNO DO Rio de Janeiro

SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Ministério da Educação

BRASIL UM PAÍS DE TODOS GOVERNO FEDERAL

Apoio:

FAPERJ

Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro

Fundação Cecierj / Consórcio Cederj

Rua Visconde de Niterói, 1364 – Mangueira – Rio de Janeiro, RJ – CEP 20943-001
Tel.: (21) 2334-1569 Fax: (21) 2568-0725

Presidente
Masako Oya Masuda

Vice-presidente
Mirian Crapez

Coordenação do Curso de Física
Luiz Felipe Canto

Material Didático

ELABORAÇÃO DE CONTEÚDO
Jose Adolfo S. de Campos

COORDENAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO INSTRUCIONAL
Cristine Costa Barreto

DESENVOLVIMENTO INSTRUCIONAL E REVISÃO
Ana Cristina Andrade dos Santos

Departamento de Produção

EDITORA
Tereza Queiroz

REVISÃO TIPOGRÁFICA
Cristina Freixinho
Patrícia Paula

COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO
Jorge Moura

PROGRAMAÇÃO VISUAL
Katy Andrade

ILUSTRAÇÃO
Clara Gomes

CAPA
Eduardo Bordoni
Fábio Muniz de Moura

PRODUÇÃO GRÁFICA
Patricia Seabra

C198i

Campos, Jose Adolfo S. dc.
Introdução às Ciências Físicas 1. v. 3 / Jose Adolfo S. de Campos. – 5. ed. – Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2009.
134p.; 21 x 29,7 cm

ISBN: 978-85-7648-556-8

1. Espaço e tempo. 2. Tempo. 3. Sistema solar. 4. Cosmologia. 5. Geocentrismo. I. Título.

CDD: 530.1

2009/2

Referências Bibliográficas e catalogação na fonte, de acordo com as normas da ABNT.

Governo do Estado do Rio de Janeiro

Governador
Sérgio Cabral Filho

Secretário de Estado de Ciência e Tecnologia
Alexandre Cardoso

Universidades Consorciadas

UENF - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO
Reitor: Almy Junior Cordeiro de Carvalho

UERJ - UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
Reitor: Ricardo Vieiralves

UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
Reitor: Roberto de Souza Salles

UFRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Reitor: Aloísio Teixeira

UFRRJ - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
Reitor: Ricardo Motta Miranda

UNIRIO - UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
Reitora: Malvina Tania Tuttman

Introdução às Ciências Físicas 1 | Volume 3 - Módulo 3

SUMÁRIO

Recomeçando

As Origens da Astronomia e os Conhecimentos Práticos

No Módulo 2, discutimos a mecânica da partícula onde foram introduzidos o conceito de referencial e as Leis de Newton. Os conceitos de espaço e tempo utilizados na definição de referencial surgiram das necessidades práticas dos povos e estão intimamente ligados à Astronomia. As observações astronômicas também foram importantes para a descoberta de Lei da Gravitação Universal porque Newton, usando a Mecânica, procurou explicar as Leis de Kepler sobre os movimentos dos planetas.

A **Astronomia** é considerada uma das mais antigas ciências, senão a mais antiga, e pode ser definida como o ramo das ciências que estuda a composição, a estrutura e as propriedades do Universo. A importância da Astronomia na Antigüidade pode ser verificada já no século V a.C., quando Martianus Capella, autor de vários livros que apresentavam um sumário de todo o conhecimento da época que os homens livres deveriam saber, a incluiu nas "Sete Artes Liberais", matérias que influenciaram o projeto das instituições acadêmicas até hoje. São três matérias básicas – Retórica, Gramática e Argumentação (conhecidas como *Trivium*) – e quatro estudos avançados – Geometria, Aritmética, Astronomia e Harmonia (conhecidos como *Quadrivium*). Note-se que a Astronomia é a única ciência incluída.

A palavra "Astronomia" provém do grego *Astron* = astros + *nomos* = arranjo, distribuição.

Os homens da Idade da Pedra Lascada (período Paleolítico) eram nômades, viviam da caça e não prestavam muita atenção aos fenômenos astronômicos, apenas olhavam com temor fenômenos meteorológicos, tais como tempestades, raios e trovões. Certamente notavam a presença da Lua e suas mudanças na forma, mas não tinham a menor idéia do que estava ocorrendo.

Há cerca de 10.000 anos, os homens deixaram de ser nômades e se fixaram em áreas do Oriente Próximo e em vales de grandes rios – Nilo, Huang, Yangtze, Tigre, Eufrates, Indo. A Idade da Pedra Polida (**Período neolítico**) é identificada pelo aparecimento de artefatos mais trabalhados e, principalmente, pelo surgimento da *agricultura*. A agricultura significou a

No período Neolítico surgiu a agricultura.

domesticação de sementes de cereais – trigo, cevada, lentilha, ervilha, arroz – e de animais domésticos – cabras, ovelhas, vacas, porcos, cachorros. No Neolítico, os homens se agrupavam em pequenas vilas e, então, surgem a tecelagem e a cerâmica, além da religião organizada e o simbolismo pictórico.

A Astronomia surgiu na Idade do Bronze.

Na Idade do Bronze, que se seguiu ao período Neolítico, apareceram os metais, a arquitetura, a roda e ocorreu um desenvolvimento social muito importante – a criação de cidades. A cidade tornou possível uma série de avanços técnicos, além de complexas invenções intelectuais, políticas e econômicas tais como os números, a escrita e o comércio. A cidade deu oportunidade para o surgimento de um sistema de classes mais evoluído, de um governo organizado e das primeiras áreas de uma ciência consciente – Astronomia, Medicina e Química.

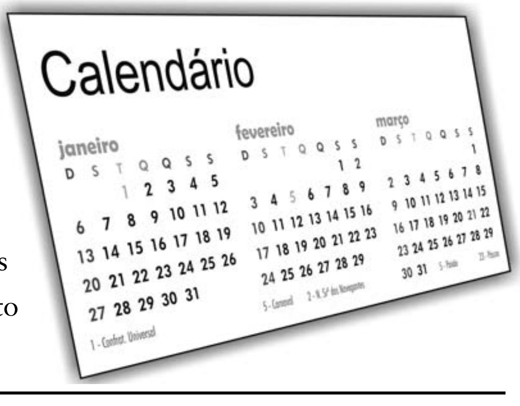
Os primeiros conhecimentos astronômicos surgiram de necessidades práticas dos povos.

A primitiva agricultura era suficiente para abastecer os habitantes das pequenas vilas. Entretanto, quando os habitantes das vilas começaram a praticar a agricultura em amplos vales cortados por grandes rios, houve um notável aumento de produtividade e um excesso de oferta de grãos, permitindo um crescente comércio com as comunidades vizinhas. A cooperação entre várias vilas para melhor aproveitamento das águas dos rios levou à criação de centros maiores, onde havia não somente agricultores, mas também artesãos, comerciantes e administradores. As primeiras cidades surgiram nos vales férteis de grandes rios no Egito (Nilo), na Mesopotâmia (Tigre e Eufrates), na Índia (Indo) e mais tarde na China (Huang e Yangtze). As cidades nasceram ao redor de um templo, no qual havia um deus assistido por seus sacerdotes. Os sacerdotes formaram a primeira classe dos administradores, responsáveis pela distribuição de água e de sementes, pela datação das épocas da semeadura e da colheita, pelo armazenamento dos grãos da colheita, pela coleção e divisão dos rebanhos e seu produto.

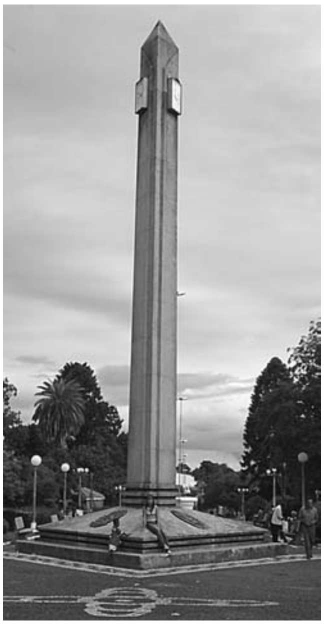
A identificação dos primeiros conhecimentos astronômicos é uma tarefa difícil, já que a Astronomia é reconhecidamente uma das mais antigas ciências. A habilidade de contar e calcular, derivada das necessidades práticas de administração do templo, foi de uso imediato na confecção de calendários e no desenvolvimento da Astronomia. A agricultura praticada em larga escala impunha o conhecimento da época da semeadura, que dependia de um planejamento anual.

O calendário foi a primeira aplicação prática dos conhecimentos astronômicos.

O **calendário** foi a primeira grande aplicação prática de conhecimentos derivados da Astronomia. Para a determinação da duração do ano (365, 2422 dias), eram necessárias observações prolongadas e cuidadosas do Sol e das estrelas. Já em 4200 a.C., baseados nessas observações, os sacerdotes do antigo Egito



compilaram um *calendário solar* que continuou em uso por milhares de anos. Na Mesopotâmia, os sumérios e seus sucessores estavam muito ligados à Lua e, por isso, trabalharam na relação entre os *calendários lunar* e *solar*, o que exigiu observações durante muitas gerações e cálculos precisos.



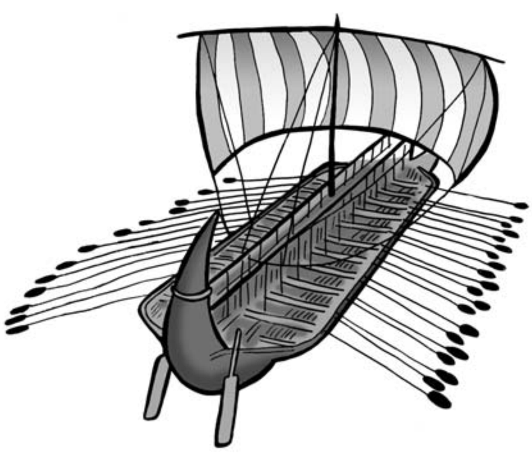
Uma série de atividades da vida cotidiana das cidades dependia da fixação de instantes de tempo durante o transcorrer do dia. Isso implica na necessidade de medir e dividir o tempo. O *movimento do Sol no céu* permitiu dividir o período ensolarado em 12 partes, fornecidas pela sombra projetada por uma haste – *Gnomon* (*gnomon* é uma palavra grega que significa "indicador" ou "aquilo que revela", e é uma haste, parte de um *relógio de sol*, cuja sombra indica a hora do dia. O obelisco é um exemplo de gnomon). A divisão da noite foi feita inicialmente observando-se o nascer de constelações que estavam aproximadamente igualmente espaçadas no céu. A *divisão do dia* em 24 horas foi uma conquista que demorou milênios.

As necessidades da vida cotidiana das cidades implicaram na *divisão do dia* em partes.

Com a transformação das primitivas vilas em cidades, houve a necessidade de transporte de alimentos, metais, madeiras e outros bens a grandes distâncias. Inicialmente, isso foi feito por meio de barcos que navegavam nos rios e lagos próximos, mas, com a ampliação das distâncias, a **navegação** feita por povos mercantes, como os fenícios, exigiu uma orientação mais precisa, que não dependesse de características geográficas locais, e foi obtida usando-se a *orientação pelo sol e pelas estrelas*. Foram identificadas direções especiais, definidas pelos *pontos cardeais*, usando-se os *movimentos do Sol e da Lua*, que poderiam ser reconhecidas pelos mercadores em qualquer ponto da Terra. Além disso, foram assinalados nomes a conjuntos de estrelas – **constelações** – cujas formas se assemelhavam a animais ou a objetos, que facilitariam a identificação da posição dos mercadores.

A navegação usou a orientação pelo Sol e pelas estrelas.

A palavra "constelação" provém da palavra latina *Constellatio*, que significa "coleção de estrelas".



As observações realizadas nos templos das antigas civilizações não serviam somente para construção do calendário, divisão do dia ou orientação. O Sol, a Lua, os planetas eram vistos como divindades, e o calendário incluía uma série de datas dedicadas aos deuses, que deviam ser obedecidas para a preservação da ordem da natureza. O estudo da Astronomia estava interligado com a religião, porque tratava do mundo-dos-céus, no qual os espíritos, em particular dos reis sagrados, viviam após a morte.

Os antigos egípcios pensavam que a Terra tinha forma achatada e o céu era representado por uma cobertura plana. Somente após a invenção da roda a rotação do céu em torno do pólo pôde ser precisamente imitada. A idéia da rotação regular dos céus imprimiu grande ênfase no movimento dos corpos celestes. Acreditava-se que, se essas ocorrências regulares no céu afetavam a natureza e traziam as *estações*, elas deviam igualmente afetar a condição do homem. Os sacerdotes, que eram os intermediários entre os deuses e os reis, consultavam os astros para saber a vontade dos deuses e transmiti-la. No começo, somente os reis, que eram seres divinos, tinham relação com os céus, mas depois o privilégio se tornou mais comum e cada indivíduo que pudesse pagar poderia regular o seu comportamento pelas estrelas. Surgia a **Astrologia**. Nos primórdios, a Astrologia estava intimamente ligada à Astronomia, e foi por essa razão que os homens se ocuparam durante milênios com as observações das *posições e dos movimentos de estrelas e planetas*.

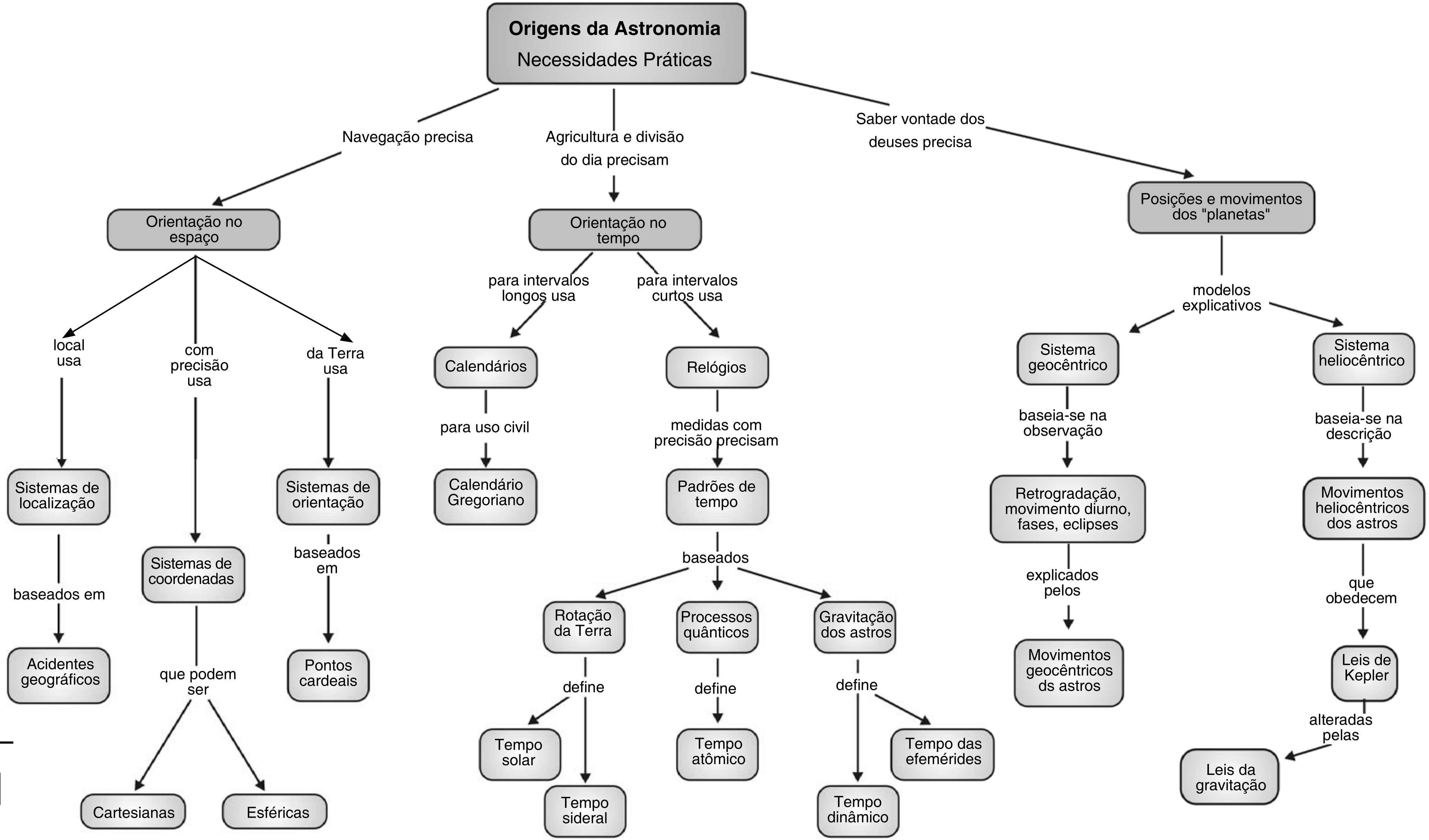
Astrologia é uma pseudociência que se dedica ao estudo de posições e aspectos dos corpos celestes na crença de que eles têm influência sobre o curso dos acontecimentos naturais na Terra e nos comportamentos humanos.

Como você viu, a origem e o desenvolvimento inicial da Astronomia estão intimamente ligados com as necessidades práticas dos povos antigos. A tabela a seguir mostra a relação entre as necessidades práticas e o conseqüente conhecimento astronômico.

Origem	Necessidade Prática	Conhecimento Astronômico
Agricultura	Datas do plantio	Calendário, duração do ano
Atividades sociais	Medir e dividir o tempo	Divisão do dia
Transporte de mercadorias	Navegação	Orientação pelo Sol e pelas estrelas
Atividades religiosas	Saber a vontade dos deuses	Posições dos planetas e das estrelas

Este módulo explora o fato de a Astronomia ter nascido de necessidades práticas dos homens pré-históricos, que geraram conhecimentos que são usados cotidianamente pela sociedade até hoje. A duração prevista para o Módulo 3, cujo plano geral pode ser visto na figura, é de três semanas com três aulas:

1. Orientação no espaço
2. Orientação no tempo
3. O espaço que nos cerca – fases, eclipses e marés


Origens da Astronomia
Necessidades Práticas
Navegação precisa
Agricultura e divisão do dia precisam
Saber vontade dos deuses precisa
Orientação no espaço
Orientação no tempo
Posições e movimentos dos "planetas"
local usa
com precisão usa
da Terra usa
Sistemas de localização
baseados em
Acidentes geográficos
Sistemas de coordenadas
que podem ser
Cartesianas
Esféricas
Sistemas de orientação
baseados em
Pontos cardeais
para intervalos longos usa
para intervalos curtos usa
Calendários
para uso civil
Calendário Gregoriano
Relógios
medidas com precisão precisam
Padrões de tempo
baseados
Rotação da Terra
define
Tempo solar
Tempo sideral
Processos quânticos
define
Tempo atômico
Gravitação dos astros
define
Tempo dinâmico
Tempo das efemérides
modelos explicativos
Sistema geocêntrico
baseia-se na observação
Retrogradação, movimento diurno, fases, eclipses
explicados pelos
Movimentos geocêntricos ds astros
Sistema heliocêntrico
baseia-se na descrição
Movimentos heliocêntricos dos astros
que obedecem
Leis de Kepler
alteradas pelas
Leis da gravitação

Orientação no espaço

Meta

Apresentar os diversos sistemas usados pelo homem para se orientar no espaço.

Objetivo

Identificar as principais características necessárias para indicar uma localização e como chegar até ela.

Introdução

Nesta aula, serão apresentados os sistemas que permitem ao homem se deslocar e identificar posições tanto sobre a superfície da Terra quanto no espaço.

Para você se deslocar entre dois pontos quaisquer, é necessário indicar o ponto de partida (origem), a direção e o sentido que se deve tomar. Esse sentido depende do ponto em que você está situado (origem).

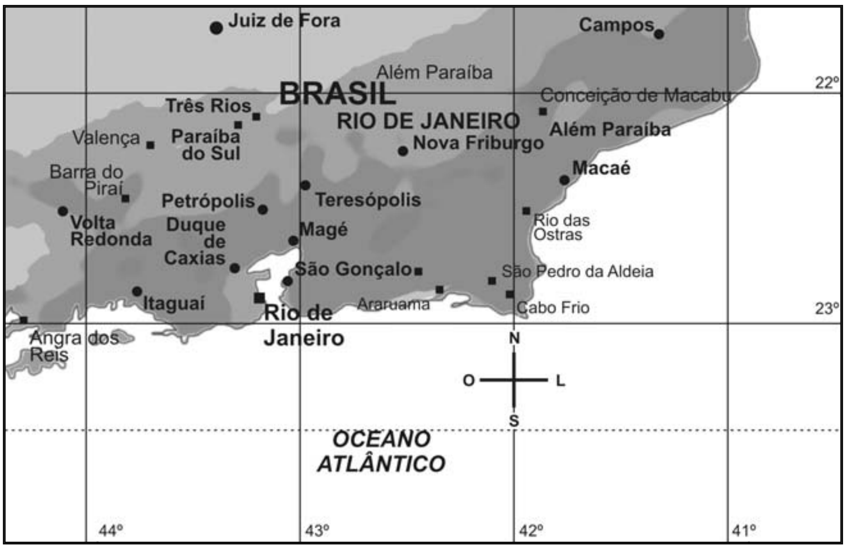


Figura 1

Por exemplo, seja o deslocamento entre as cidades do Rio de Janeiro e Juiz de Fora (MG). A *origem* poderá ser o Rio de Janeiro ou Juiz de Fora (**Figura 1**). Se a origem for o Rio de Janeiro, a *direção aproximada* do deslocamento será *Norte-Sul, e o sentido será para o Norte*; se a origem for Juiz de Fora, a *direção* será *Norte-Sul*, e o sentido será para o *Sul*.

LOCALIZAÇÃO de um lugar é a sua posição em relação a um ponto de referência.

Para distâncias próximas, um sistema de **LOCALIZAÇÃO** que envolva características locais (por exemplo, acidentes geográficos) é suficiente para indicar o(s) deslocamento(s) a ser(em) feito(s). Entretanto, para posições mais afastadas na superfície da Terra, é preciso que a identificação de direções use um **sistema de orientação** que empregue os pontos cardeais.

Para identificar a posição de pontos (ou lugares), você precisa de um *ponto de referência* em relação ao qual possa se localizar. Para a identificação aproximada da posição, você pode usar acidentes geográficos (por exemplo, a praia de Copacabana fica ao lado do Pão de Açúcar) ou os pontos cardeais (a cidade de Niterói fica a Leste da cidade do Rio de Janeiro). Entretanto, quando precisamos localizar com precisão a posição, usamos um **sistema de coordenadas**.

Num sistema de coordenadas, a posição de um ponto no espaço pode ser univocamente especificada por três **coordenadas retangulares** (uma para cada dimensão), também chamadas de *coordenadas cartesianas*. A posição do ponto no espaço também pode ser especificada usando-se três **coordenadas esféricas**, representadas por um eixo e dois ângulos entre planos. O uso de um sistema ou de outro depende do problema que você tem de resolver.

Sistemas de localização

O homem primitivo se afastava pouco de sua habitação, e sua necessidade de localização resumia-se a indicações de caminhos fornecidas por picadas nas matas ou referências identificadas por acidentes geográficos, tais como rios, lagos, montanhas e formações peculiares da região que circundava o seu ambiente (**Figura 2**).

Figura 2

Para comercializar com os povoados vizinhos, era necessário um SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO que permitisse aos mercadores irem e retornarem à sua aldeia de origem. Esse sistema primitivo era baseado em acidentes geográficos (montanhas, rios, lagos etc.).

SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO é aquele que identifica a posição em relação a pontos de referência locais.

Exemplo 1: sistema de localização

Os moradores da vila de Tet tiveram uma excelente colheita de trigo. Como sabiam que a vila de Acab tinha um rebanho grande de caprinos, resolveram trocar os grãos de trigo por cabras. Usando o mapa da **Figura 3**, descreva a rota que devem percorrer os mercadores de Tet para chegar até Acab em termos dos acidentes geográficos encontrados pelo caminho. O alcance da visão dos mercadores é de no máximo dois quadrados (incluindo onde eles estão); sabem o que é direita e esquerda; não sabem medir distâncias e não podem atravessar a lagoa, a floresta ou o pântano.

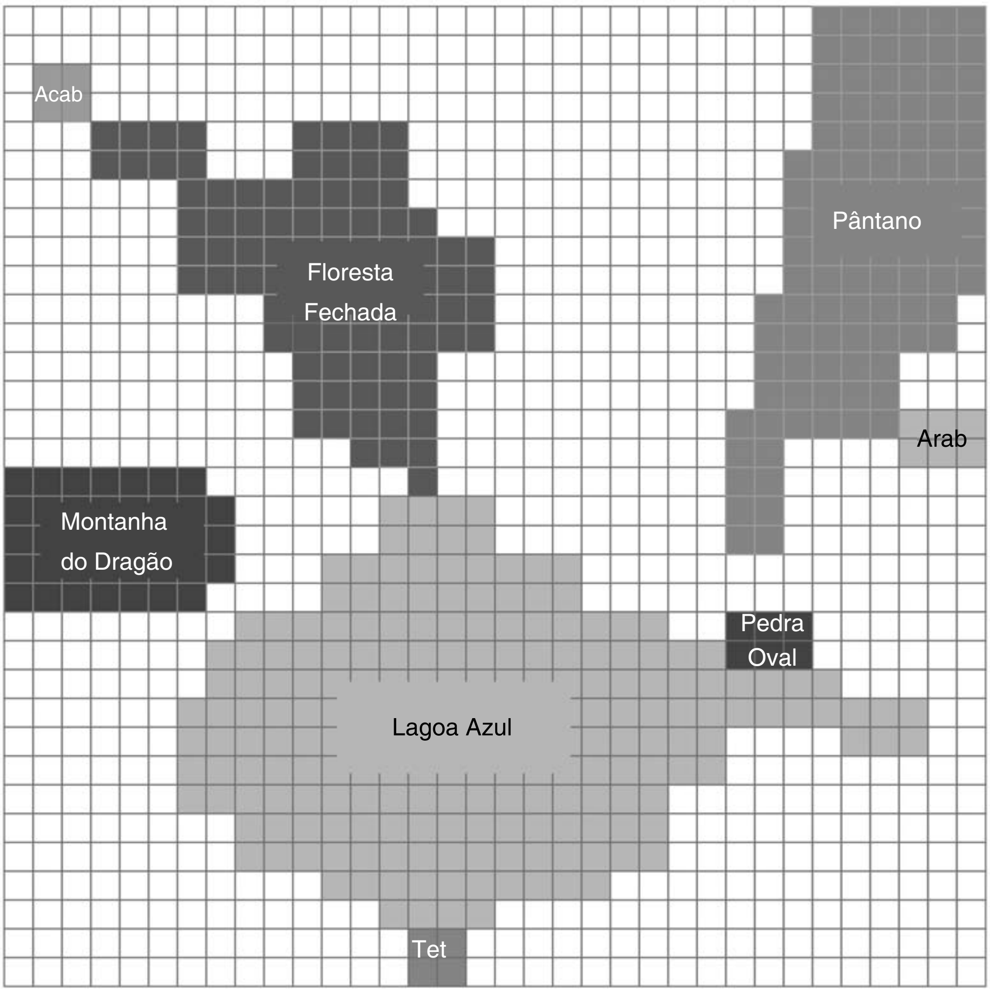


Figura 3

Resolução

Em Tet, coloque-se de frente para o lago. Caminhe para a esquerda e contorne o lago, sempre mantendo-o à sua direita, até encontrar a Floresta Fechada. Continue contornando a floresta, sempre mantendo-a à sua direita, até chegar em Acab. A passagem pela Montanha do Dragão poderá ser incluída no trajeto apenas como um elemento adicional de confirmação, indicando que os mercadores estão no caminho certo.

Modernamente, usamos um sistema de localização semelhante, em que os pontos de referência são construções e alinhamentos feitos pelo homem – *sistema de endereços* –, que é usado para que os habitantes da cidade saibam onde encontrar pontos específicos (cinemas, teatros, monumentos, igrejas etc.).

O *sistema de endereços* depende de convenções locais e, portanto, é uma localização dependente das regras estabelecidas por cada país e por cada cidade. Para exemplificar o uso do sistema de endereços, vamos indicar a localização (endereço) da Igreja da Candelária, na cidade do Rio de Janeiro.

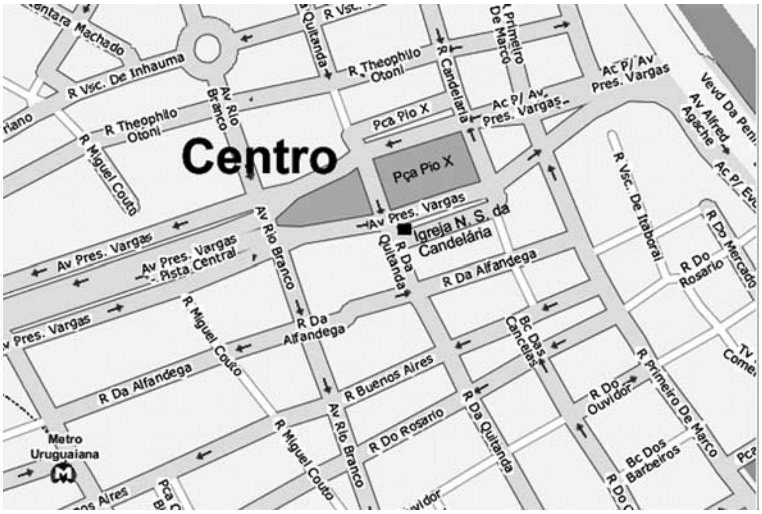


Figura 4: Praça Pio X, Centro – Rio de Janeiro, RJ – Brasil.

A "Praça Pio X" é um local específico dentro de uma região (bairro) chamada "Centro", que fica na "Cidade do Rio de Janeiro", que está no "Estado do Rio de Janeiro", no país chamado "Brasil". Com esse endereço, uma pessoa é capaz de identificar a posição da Igreja da Candelária. Note que foi omitido o Código de Endereçamento Postal (**CEP**), que é um sistema usado pelos Correios para facilitar o encaminhamento das correspondências e que não é necessário para que uma pessoa localize a Igreja da Candelária.

Sistema de orientação

Com o incremento das atividades comerciais, o homem começou a se aventurar por terras cada vez mais distantes, às vezes atravessando mares ou desertos, de tal modo que os acidentes geográficos não eram suficientes para uma localização segura. A observação do movimento executado pelo Sol e pelas estrelas permitiu ao homem primitivo montar um SISTEMA DE ORIENTAÇÃO baseado nos objetos que ele via no céu e que tornou possíveis as viagens para lugares mais afastados. O **sistema de orientação** baseia-se na determinação da direção de um ponto em função dos pontos cardeais. As direções dos pontos cardeais são determinadas para qualquer ponto sobre a superfície do planeta Terra.

SISTEMA DE ORIENTAÇÃO é um sistema que identifica a direção de um ponto em relação aos pontos cardeais.

Para facilitar a identificação aproximada de sua posição, o homem passou a associar figuras de animais ou de seres mitológicos a grupos de estrelas cuja forma lhe parecia familiar. Assim surgiram as CONSTELAÇÕES, algumas das quais mantêm os seus nomes originais até o presente. Ao identificar certas constelações no céu, os mercadores sabiam se estavam navegando na direção correta ou não.

CONSTELAÇÕES são grupos de estrelas que ocupam uma área do céu, com limites delimitados.

Nos primórdios, as **constelações** eram nomes dados a grupos de estrelas, mas, modernamente, os nomes das constelações estão associados a áreas do céu com contornos cujos limites foram definidos pela União Astronômica Internacional (IAU). É preciso que fique bem claro que as estrelas de uma constelação estão próximas no céu somente por uma questão de perspectiva, estando na sua quase totalidade a distâncias muito diferentes entre si.

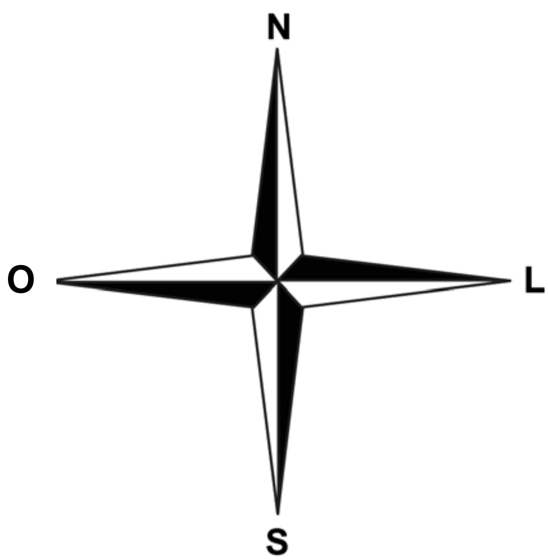


Figura 5

Usando o Gnomon (haste com forma de obelisco), os antigos determinaram direções que não se alteravam quando a posição do observador sobre a Terra variava. Essas direções apontavam para pontos – *pontos cardeais* –, que permitiram a construção de um **sistema de orientação** que valia para qualquer ponto sobre a superfície da Terra. O sistema de orientação baseia-se na determinação da direção de um local em relação a quatro pontos cardeais. Os pontos cardeais estão situados a 90° um do outro (**Figura 5**) e são conhecidos como **Norte (N), Leste (L), Sul (S), Oeste (O)**. Esse novo sistema facilitou a navegação a grandes distâncias e praticamente eliminou a incerteza nas direções que deveriam ser tomadas para atingir certos portos e/ou cidades.

Como foram determinados os pontos cardeais?

HORIZONTE é a linha onde o céu e a terra se encontram.

Você pode verificar que, durante o dia, as sombras projetadas pela haste (Gnomon) vão diminuindo à proporção que o Sol fica mais alto em relação ao **HORIZONTE** (sentido de A para D na figura). Os pontos com sombras maiores foram denominados na **Figura 6** por A e A'. A sombra começa com o tamanho máximo IA, atingindo um mínimo (ou mesmo desaparecendo) próximo do meio-dia. A partir desse instante, o Sol começa a caminhar para o poente e a sua sombra projetada vai aumentando o comprimento (sentido de D' para A'). Na **Figura 6**, os comprimentos das sombras identificados com mesma letra com e sem apóstrofo estão à mesma distância do ponto I (IA = IA', IB = IB', IC = IC' etc.).

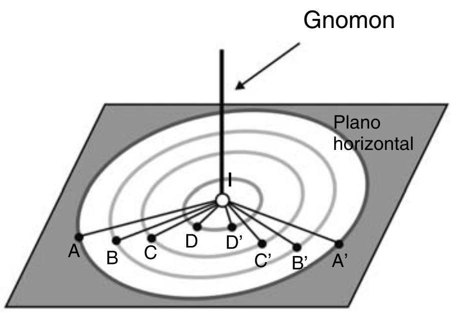


Figura 6

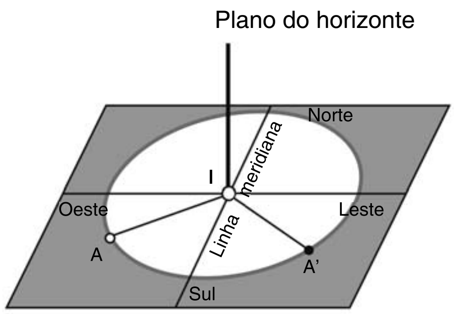


Figura 7

Para se determinar os pontos cardeais, vai-se traçar as bissetrizes dos ângulos AIA', BIB', CIC', DID' etc. Todas as bissetrizes coincidem na mesma posição. A linha assim determinada define a direção Norte-Sul e é conhecida como *linha meridiana* (**Figura 7**). Esta direção também coincide com a sombra de menor tamanho.

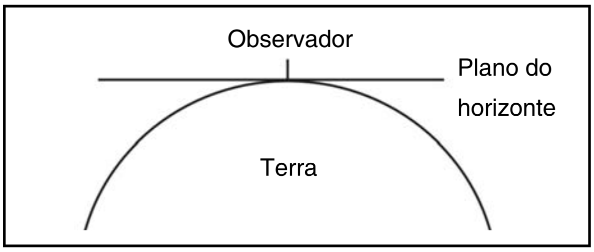


Figura 8

O prolongamento da linha meridiana no PLANO DO HORIZONTE (**Figura 8**) até encontrar o "céu" irá indicar as direções dos **pontos cardeais Norte e Sul**. Traçando-se agora uma linha perpendicular à linha meridiana, tem-se a *linha Leste-Oeste*, que indicará as direções dos **pontos cardeais Leste e Oeste**.

PLANO DO HORIZONTE é plano tangente `a superfície da Terra no local de observação.

O sistema de orientação usando pontos cardeais é válido para qualquer ponto da superfície terrestre.

Orientando-se de dia

Para um observador situado na superfície da Terra, as estrelas e o Sol parecem girar no sentido de Leste para Oeste. Na realidade, é a Terra que gira de Oeste para Leste (ver Aula 3). Então o Sol, a Lua e as estrelas nascem sempre do *lado Leste* e se põem do *lado Oeste*. Os lados Leste e Oeste são separados pela linha meridiana. Se você observar o nascer do Sol durante vários dias seguidos, verá que o ponto do nascer muda constantemente na linha do horizonte, executando um movimento periódico (**Figura 9**), ora caminhando no sentido Sul, ora no sentido Norte, mas ele nasce sempre do lado Leste. Os pontos onde o Sol reverte o seu movimento, que são os mais extremos onde ele nasce ao Norte ou ao Sul, são chamados de **solstícios** (palavra latina que significa "Sol parado"). Os pontos a meio caminho entre os solstícios são chamados de equinócios (palavra latina que significa "noite igual"). Nos **equinócios**, a duração da noite é igual à duração do dia claro, e o Sol está sobre o Equador celeste. Você verá na Aula 3 que esse movimento de oscilação entre o Norte e o Sul está relacionado com o movimento da Terra em torno do Sol.

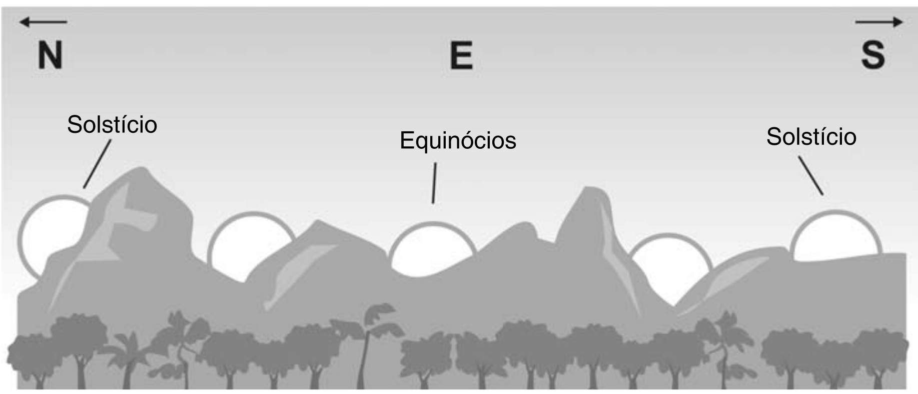


Figura 9

Então, para orientar-se de dia, aponte o seu *braço direito* na direção onde nasce o Sol (**lado Leste**); à sua *frente* está diretamente para o **lado Norte**, o seu *braço esquerdo* aponta para o **lado Oeste** e as suas *costas* indicam o **lado Sul** (**Figura 10**).

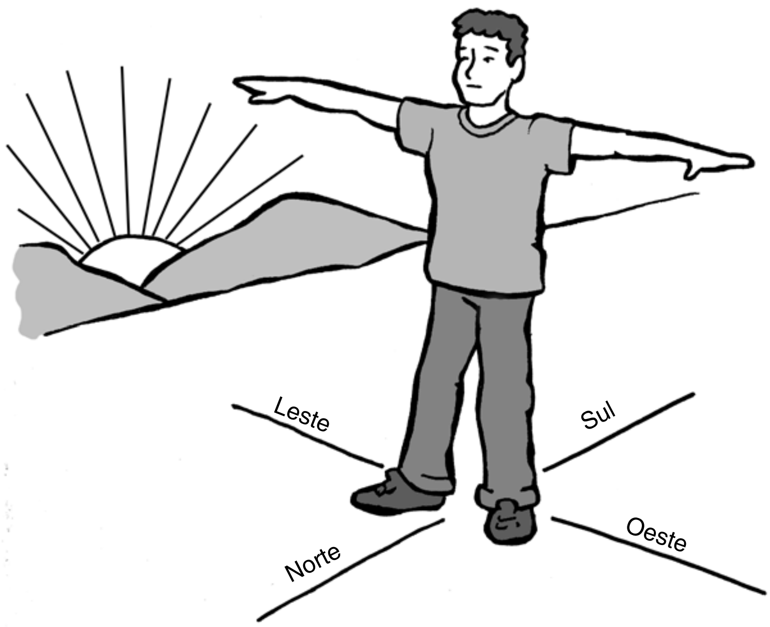


Figura 10

Conforme o próprio nome diz, o ponto cardeal é um ponto. Alguns textos dizem erroneamente que "o Sol nasce sempre no ponto cardeal Leste", o que só ocorre nas datas dos **equinócios** de março e setembro, mas o correto é dizer "o Sol nasce sempre no *lado Leste*".

Exemplo 2: sistema de orientação

Os moradores da vila de Tet tiveram uma excelente colheita de trigo. Como sabiam que a vila de Acab tinha um grande rebanho de caprinos, resolveram trocar os grãos de trigo por cabras. Usando o mapa da **Figura 11**, em que cada quadrado representa a distância de um "estádio" (uma medida antiga igual a 185m), descreva a rota (e marque com um lápis no mapa para facilitar) que os mercadores de Tet devem percorrer para chegar até Acab, retornando depois à sua vila natal, usando o sistema de pontos cardeais para se orientarem. Os mercadores só podem caminhar nas direções N, NE, E, SE, S, SO, O, NO; sabem medir distâncias aproximadamente, e as rotas não podem atravessar obstáculos, tais como lagos, florestas, montanhas e pântanos.

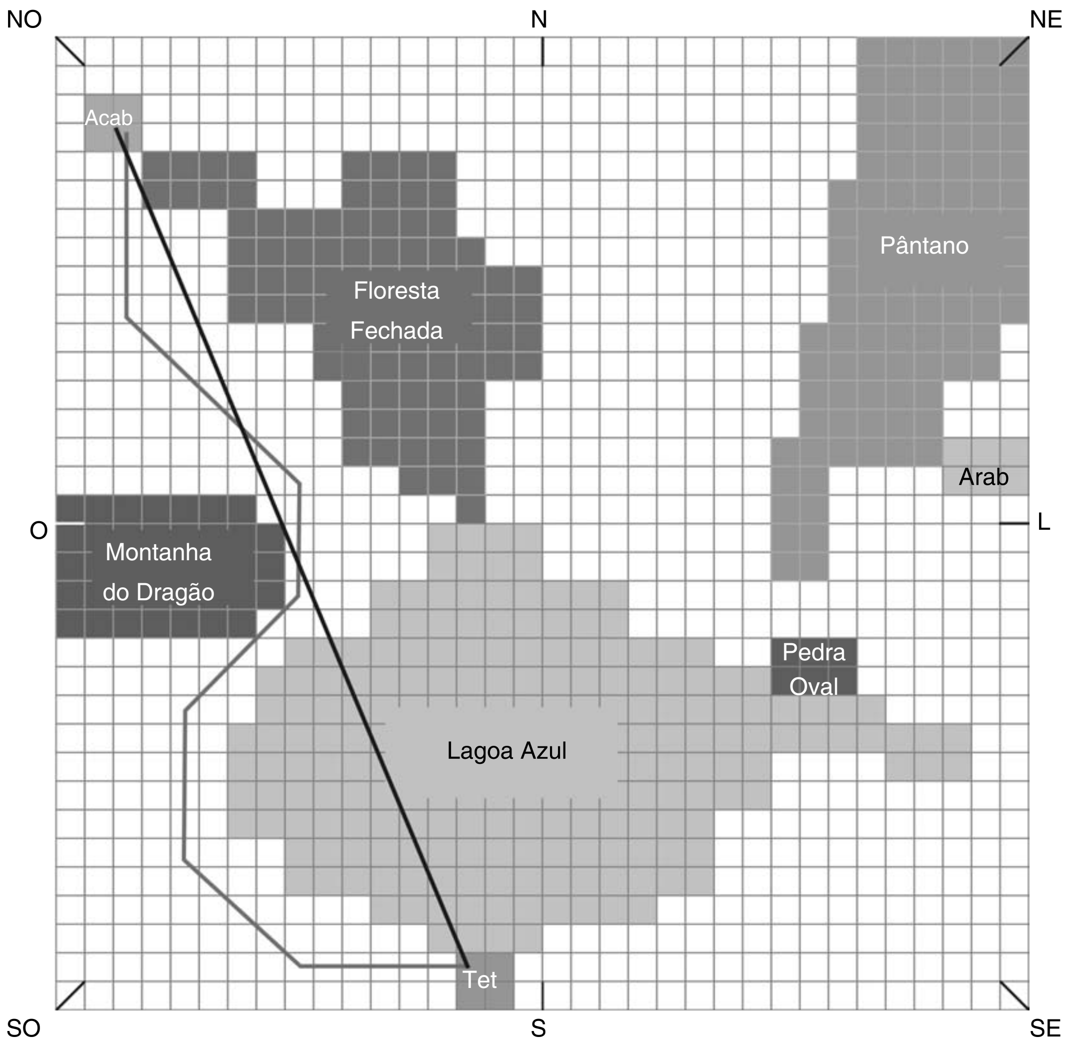


Figura 11

Resolução

O menor caminho entre dois pontos é uma linha reta. Nem sempre é possível percorrer essa reta, uma vez que podem existir obstáculos no caminho. Esse é o caso do mapa da **Figura 11**, uma vez que os moradores não podem atravessar o lago. O menor caminho deverá ser o mais próximo possível da reta que une as duas cidades. Uns dos caminhos possíveis propõe iniciar a trajetória deslocando-se inicialmente 6 estádios para oeste; 4 estádios para noroeste; 5 estádios para norte; 4 estádios para nordeste; 4 estádios para norte; 6 estádios para noroeste; 6 estádios para norte. Ao todo, o mercador percorreu 35 estádios para ir de Tet para Acab. Você seria capaz de encontrar um caminho mais curto?

Orientando-se à noite

Para orientação à noite, você pode usar o mesmo procedimento indicado no caso do Sol, verificando onde nascem as estrelas. Entretanto, esse procedimento é demorado porque precisamos esperar as estrelas se moverem de um pequeno arco na *esfera celeste*. A **esfera celeste** é uma esfera de raio unitário e cujo centro pode ser colocado arbitrariamente em qualquer ponto do espaço; contudo, para os propósitos a que se destina, é conveniente colocá-lo em certos pontos específicos, tais como o centro da Terra ou o centro do sistema solar. Quando você observa as estrelas no céu, parece que todas elas estão à mesma distância. Como não podemos estimar a distância visualmente, consideramos que todas as estrelas estão sobre a superfície de uma esfera: a esfera celeste (**Figura 12**).

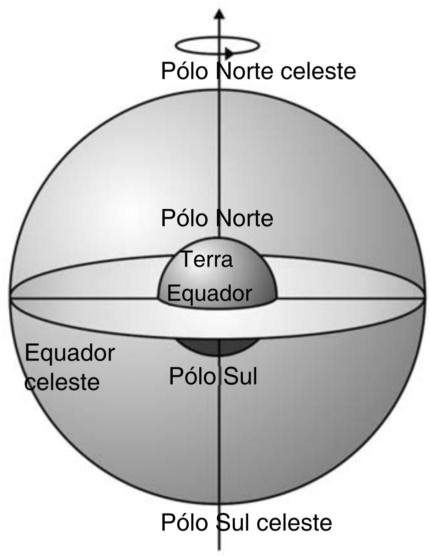


Figura 12

PÓLO CELESTE é a interseção do prolongamento do eixo de rotação da Terra com uma esfera imaginária (**esfera celeste**) que envolve a Terra e tem raio tão grande quanto se queira.

O melhor é identificar uma estrela que esteja próxima do **PÓLO CELESTE** visível, que vem a ser a direção do *pólo celeste* correspondente ao hemisfério do observador. Para lugares no Hemisfério Norte da Terra, existe uma estrela brilhante bem próxima do *Pólo Norte celeste:* Polaris, que pertence à constelação da *Ursa Menor*. Para localidades no Hemisfério Sul, a estrela próxima do *Pólo Sul celeste* (σ Octantis) é muito fraca, estando quase no limite de visibilidade. Então, usam-se as estrelas da constelação do Cruzeiro do Sul como referência para identificar a localização aproximada do Pólo Sul celeste. O *Pólo Sul celeste* encontra-se a cerca de 4,5 vezes a distância do braço maior da cruz, na direção apontada por esta (**Figura 13**). Uma vez reconhecida a posição do pólo celeste, identificam-se as direções aproximadas dos *quatro pontos cardeais* usando-se o mesmo esquema da orientação pelo Sol.

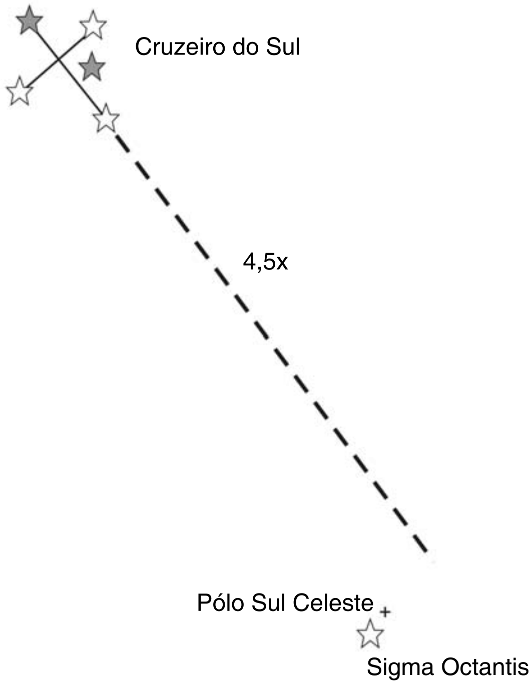


Figura 13

Orientando-se pela bússola

Um modo popular de orientação recomendado é a orientação através de uma **bússola** (**Figura 14**) que "sempre aponta para o Pólo Norte". Na realidade, a bússola aponta para o *Pólo Norte magnético,* cuja localização difere em muito da posição do Pólo Norte geográfico. O Pólo Norte magnético está em constante movimentação (o mesmo ocorre com o Pólo Sul magnético), deslocando-se entre 10km e 40km por ano. Em 2005, ele se encontrava no Canadá, nas proximidades do ponto definido pelas coordenadas geográficas φ = 82° 42' N (latitude) e λ = 114° 24' W (longitude) (**Figura 15**). Portanto, para uma orientação precisa, não podemos usar uma bússola, a menos que saibamos a localização exata do Pólo Norte magnético.

Atenção: Embora a polaridade do Pólo Norte magnético seja a do Pólo Sul magnético, esta denominação é mantida por motivos históricos.

Figura 14

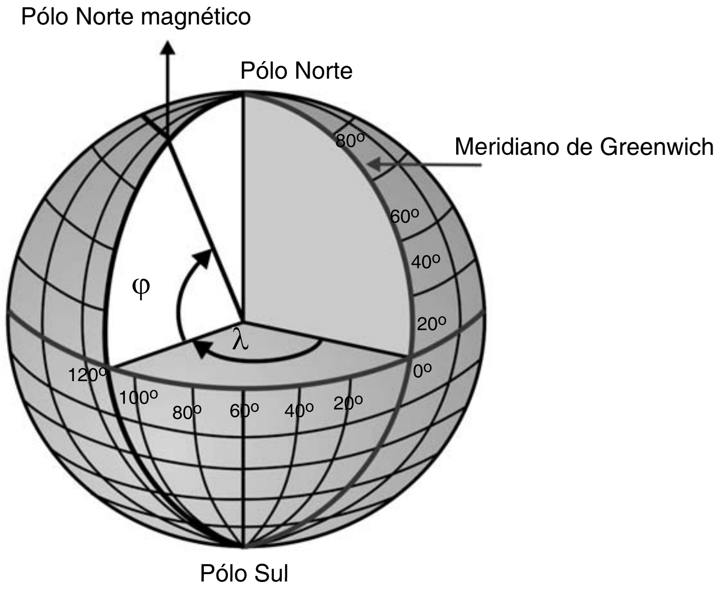


Figura 15

Sistema de coordenadas

A posição de um ponto no espaço pode ser especificada através de um sistema de coordenadas, que pode usar **coordenadas retangulares** ou **esféricas**. A escolha do tipo de coordenadas depende do problema a ser resolvido.

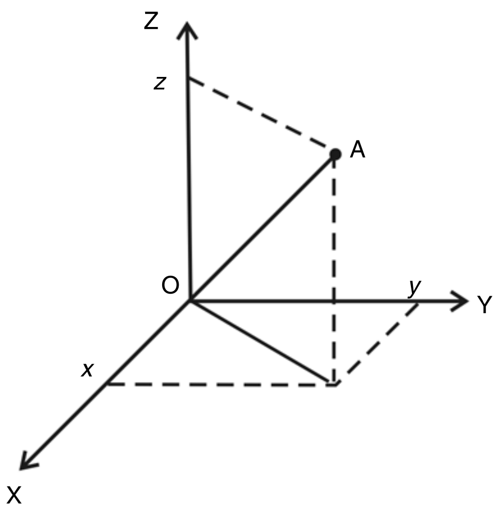


Figura 16

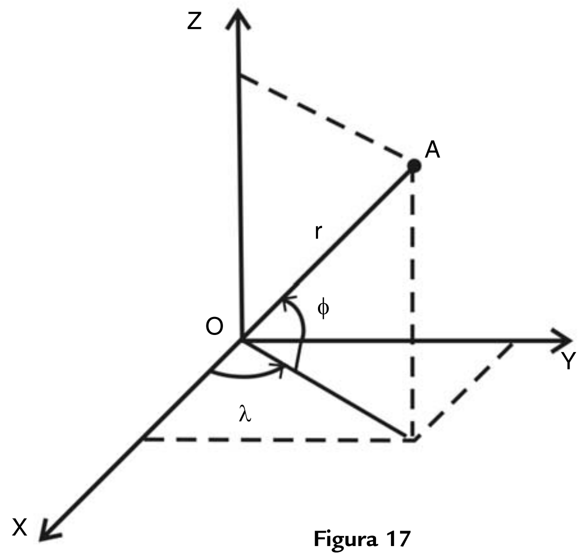


Figura 17

Para especificar a posição de um ponto no espaço no *sistema de coordenadas retangulares*, é necessário considerar *três eixos de coordenadas (X, Y, Z)* que passam através de uma *origem comum*, de tal maneira que quaisquer dois deles são *mutuamente perpendiculares* (**Figura 16**). Assim, a posição do ponto é definida por *três números (x, y, z)*, chamados de *coordenadas retangulares*.

Também podemos especificar a posição de um ponto no espaço usando as *coordenadas esféricas (r, λ, ϕ)*, em que r é a *distância do ponto a origem*, λ é o *ângulo entre o eixo x e a projeção do eixo r no plano xy* e ϕ é o *ângulo entre a projeção do eixo r no plano xy e o eixo r* (**Figura 17**).

Através de simples trigonometria, podemos ter as relações entre as coordenadas retangulares e esféricas:

$$x = r \cos \lambda \cos \phi$$

$$y = r \operatorname{sen} \lambda \cos \phi$$

$$z = r \operatorname{sen} \phi$$

Sistema de coordenadas retangulares

O uso dos pontos cardeais não eliminou a necessidade de se conhecer a distância a ser percorrida até que eventuais mudanças de direção fossem necessárias. A consideração das distâncias implicou no uso de medidas de comprimento. No plano ou no espaço, a distância entre dois pontos quaisquer pode ser obtida através do uso do *sistema de coordenadas retangulares* (cartesianas). Usando duas ou três coordenadas, somos capazes de indicar a posição de um ponto no plano ou no espaço e as distâncias entre dois pontos quaisquer. Os eixos de coordenadas retangulares são expressos em medidas lineares (metro, centímetro etc.).

Um **sistema de coordenadas retangulares** fica completamente definido se conhecemos a **origem** e as **direções** dos eixos de coordenadas. A escolha da *origem* é dependente do objetivo que se quer atingir. Assim, temos sistemas com origem no olho do observador, no centro da Terra, no centro de planetas etc. As *direções* dos eixos de coordenadas são escolhidas usando-se *objetos ou pontos com posições bem definidas*.

Exemplo 3: sistema de coordenadas cartesianas

Os moradores da vila de Tet tiveram uma excelente colheita de trigo. Como sabiam que a vila de Arab tinha um grande rebanho de caprinos, resolveram trocar os grãos de trigo por cabras. Usando o mapa da **Figura 18**, em que cada quadrado representa a distância de um estádio (uma medida antiga igual a 185m), descreva a rota que os mercadores de Tet devem percorrer para chegar até Acab utilizando o sistema de coordenadas cartesianas. Cada quadrado (o centro) é representado pelas coordenadas X e Y; o ponto de partida em Tet é o quadrado (15,2) e as rotas não podem atravessar obstáculos, tais como lagos, florestas, montanhas e pântanos. Na descrição, somente serão indicados os pontos inicial e final de cada direção. Os deslocamentos só ocorrem numa direção por vez. Ex.: move-se do ponto (15,2) para o ponto (3,5), depois para o ponto (3,7), e assim por diante.

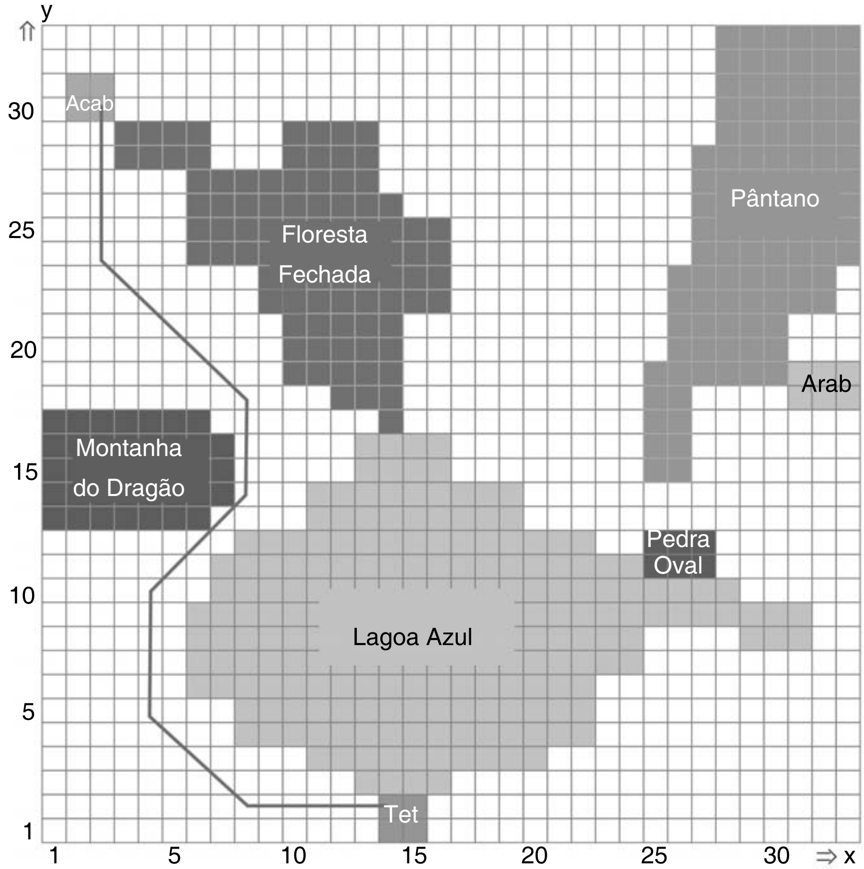


Figura 18

Resolução

Na rota assinalada no mapa, o ponto de partida é a posição (15,2). Depois o mercador se move para o ponto (9,2) > ponto (5,6) > ponto (5,11) > ponto (9,15) > ponto (9,19) > ponto (3,25) > ponto (3,31).

Sistema de coordenadas esféricas

Em certos problemas, o uso de coordenadas esféricas se impõe. Para uma esfera, a posição de um ponto na sua superfície pode ser definida usando-se apenas duas coordenadas angulares (λ, ϕ), porque o raio é constante. Isso é conveniente porque a posição do ponto é fornecida por apenas duas coordenadas, e não três. Por essa razão, a posição de um local na superfície da Terra pode ser definida apenas por duas coordenadas esféricas (*longitude* e *latitude geográficas*) com boa aproximação, embora a Terra não seja exatamente uma esfera.

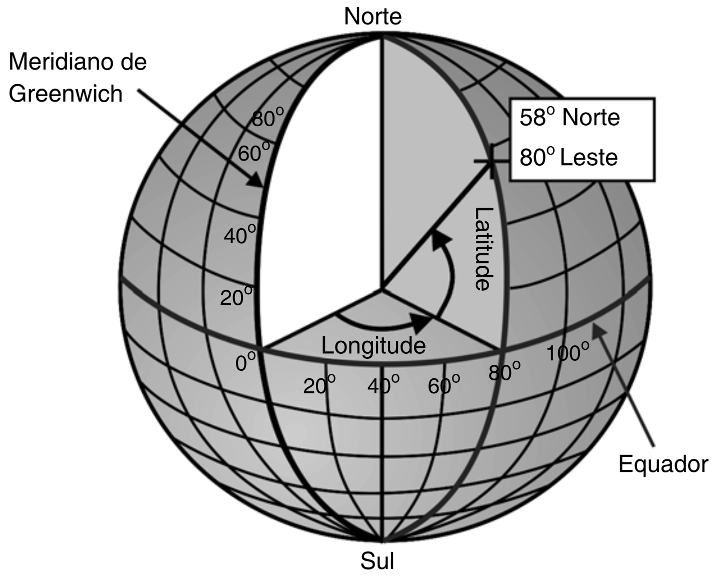


Figura 19

Exemplo 4: sistema de coordenadas esféricas

As coordenadas do ponto mostrado na **Figura 19** são latitude (ϕ = 58° Norte) e longitude (λ = 80° Leste).

Para recordar, no *sistema de coordenadas geográficas* (**Figura 19**):

A *origem* é o centro da Terra.

A *longitude geográfica* corresponde à abscissa esférica (ângulo λ), que é contada sobre o Equador terrestre no sentido de oeste para leste, a partir da interseção deste com o meridiano de Greenwich de 0° a 360°.

A *latitude geográfica* corresponde à ordenada esférica (ângulo ϕ), que é contada sobre o meridiano terrestre que passa pelo lugar, a partir da interseção deste com o Equador de 0° a +90° para o Pólo Norte e de 0° a –90° para o Pólo Sul.

Particularmente em Astronomia, observam-se as *direções de chegada* das radiações provenientes dos astros, medindo-se os ângulos em relação a um sistema de coordenadas esféricas. Na determinação de posições dos astros, trabalha-se somente com valores angulares porque as distâncias da quase totalidade dos astros não são conhecidas. Por isso, imagina-se que todos os astros estão na superfície da *esfera celeste* e, como tal, basta indicar as suas *coordenadas esféricas* para que se possa localizá-los no céu.

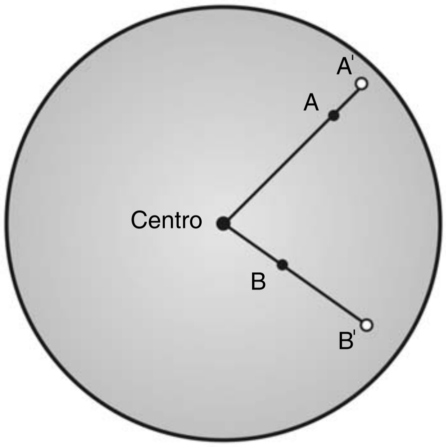
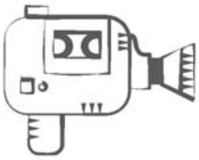


Figura 20



Veja o vídeo sobre a esfera celeste Sfera-celeste-stelli-mobili-coord-Rp.avi, feito por Mogi Vicentini para o Planetário de Milão, Itália, em http://www.mogi-vice.com/Pagine/Scaricamento.html.

A posição de um astro na esfera celeste é obtida ligando-se o centro da esfera celeste de referência ao centro do astro por uma reta (**Figura 20**). A representação da posição do astro na esfera celeste é a interseção do prolongamento da reta com a esfera celeste. A figura mostra a representação A' e B' da posição dos astros A e B na esfera celeste. Note que as distâncias dos astros ao centro da esfera celeste são diferentes.

O modo mais simples de se localizar estrelas no céu é especificar a sua constelação e relacionar as estrelas da constelação por ordem de brilho. A estrela mais brilhante da constelação é denotada pela letra grega α (alfa), a segunda mais brilhante pela letra β (beta), e assim por diante (**Figura 21**, constelação do Cruzeiro do Sul). A utilidade deste método é limitada, a não ser para a Astronomia feita a olho nu, porque existem mais estrelas de uma constelação do que letras do alfabeto grego. A maior parte da Astronomia dos antigos era uma Astronomia dos sistemas de coordenadas, com ênfase nos objetos do sistema solar.

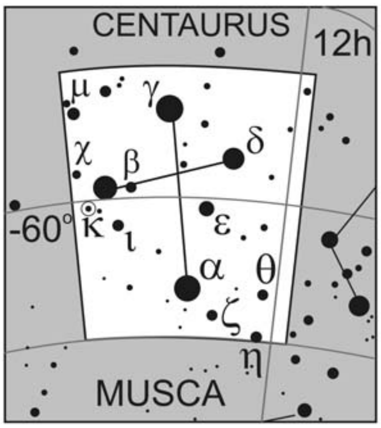


Figura 21

Para a determinação precisa da **posição** de um Astro, precisamos de um SISTEMA DE COORDENADAS. Um sistema de coordenadas fica completamente definido se conhecemos a **origem** e as **direções** dos **eixos de coordenadas**. A escolha da **origem** é dependente do objetivo que se quer atingir. Assim, temos sistemas com origem no observador, no centro de massa da Terra, no baricentro do sistema solar, no centro de planetas etc. As **direções** dos eixos de coordenadas são escolhidas ao se procurar objetos ou pontos com posições bem definidas, com a evolução no tempo previsível.

Os SISTEMAS DE COORDENADAS são chamados de **locais**, quando as coordenadas dependem tanto da posição do observador quanto da posição do astro.

Existem vários sistemas de coordenadas esféricas empregados em Astronomia, usando centros e definições de coordenadas esféricas diferentes. Naturalmente, os primeiros sistemas de coordenadas tinham como *origem* o *observador* e, portanto, eram sistemas locais, também conhecidos como sistemas topocêntricos.

A interseção do MERIDIANO CELESTE DO LUGAR com o plano do **horizonte** determina os pontos cardeais Norte e Sul.

Para os observadores situados na Terra, o **sistema de coordenadas horizontais** é o mais natural, porque está diretamente relacionado com o modo de ver o céu a nossa volta. O sistema de coordenadas horizontais é estabelecido antes de qualquer outro, porque é preciso primeiro determinar o MERIDIANO CELESTE DO LUGAR, que é um círculo da esfera celeste determinado pela interseção desta com o plano que passa pelo zênite e pelos pólos celestes (**Figura 22**). O *fio de prumo* é usado para determinar o ZÊNITE DO OBSERVADOR, e a **observação** estabelece a direção do PÓLO CELESTE ELEVADO. Como conseqüência, determina-se o meridiano celeste do lugar.

O ZÊNITE DO OBSERVADOR é um ponto projetado, sobre a esfera celeste, que está diretamente acima de sua cabeça. Este ponto é obtido pelo prolongamento de uma reta que passa pelo centro da Terra e pelo observador.

PÓLO CELESTE ELEVADO é o pólo celeste que está acima do horizonte.

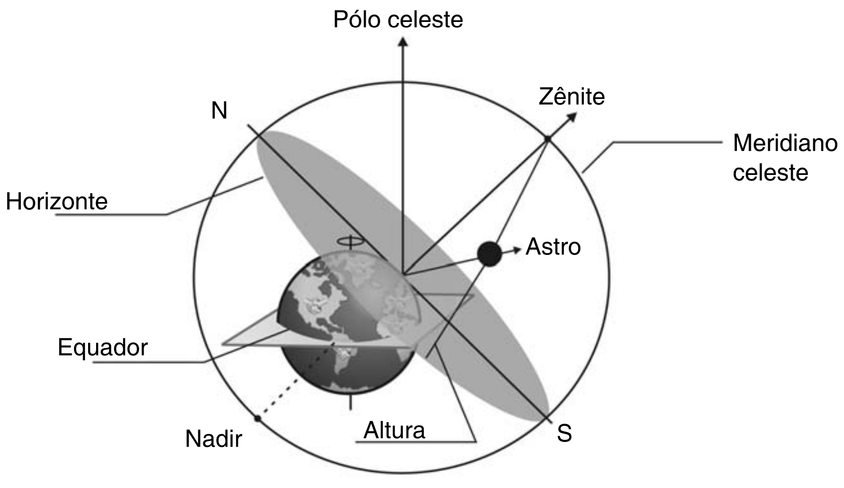


Figura 22

No *sistema horizontal* (**Figura 23**), empregado para as medidas de posição de astros, a abscissa esférica chama-se *Azimute* (A), que é contado sobre o plano do **horizonte** a partir do **ponto cardeal Sul** (S) no sentido horário; a ordenada esférica chama-se *Altura* (h), contada sobre o círculo que passa pela estrela, a partir do horizonte na direção do zênite.

Como a linha do horizonte na maioria das vezes está encoberta por montanhas e edificações, a ordenada esférica Altura é substituída, na prática, pela *distância zenital*, que vem a ser o arco que vai do zênite até o astro. O zênite é um ponto bem definido pela vertical que passa pelo observador e, como se pode ver na **Figura 23**, a distância zenital é o complemento da altura. As medidas de posição dos astros são feitas por instrumentos usando-se o sistema horizontal de coordenadas.

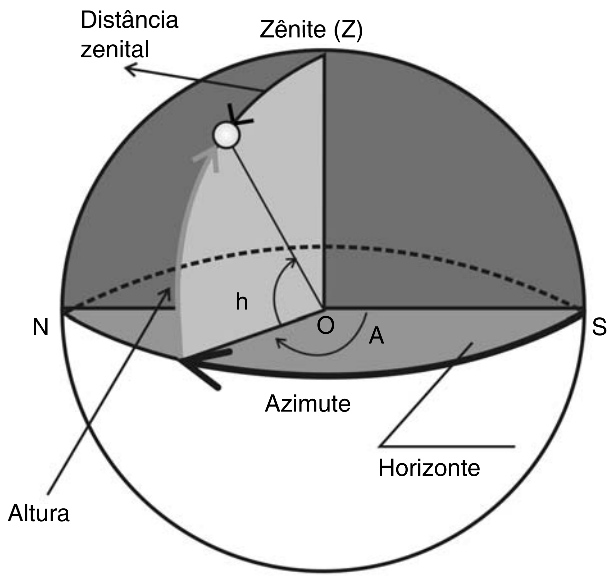


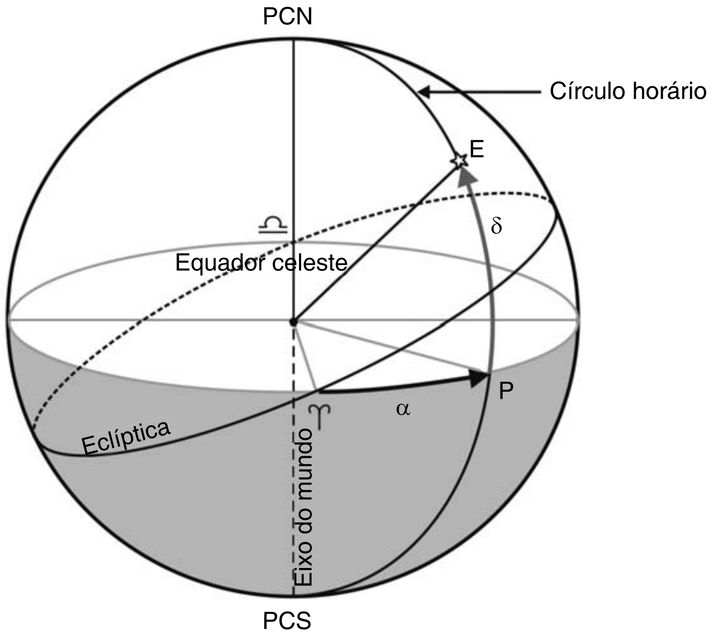
Figura 23

EQUADOR CELESTE é a interseção do plano que passa pelo Equador da Terra com a esfera celeste.

ECLÍPTICA é o círculo que é o lugar geométrico da trajetória aparente do Sol ao longo do ano na esfera celeste.

PONTO VERNAL (γ) é o ponto em que o Sol, no seu movimento aparente ao redor da Terra, corta o Equador celeste quando se desloca do Hemisfério Sul para o Hemisfério Norte.

Na confecção de cartas estelares, catálogos e efemérides dos corpos celestes, emprega-se o *sistema equatorial celeste* (**Figura 24**). Neste sistema, o centro da esfera celeste é o *centro da Terra*; a abscissa esférica chama-se *Ascensão Reta* (α) e é contada sobre o EQUADOR CELESTE a partir do PONTO VERNAL no sentido anti-horário; a ordenada esférica chama-se *Declinação* (δ) e é contada sobre o *círculo horário* que passa pela estrela, a partir do Equador celeste. A Ascensão Reta é um ângulo que varia entre 0° e 360°, mas que é apresentada sob a forma de horas, minutos e segundos usando-se a igualdade de 24 horas = 360°. A Declinação é um ângulo que varia entre 0° e +90° quando contado do Equador celeste para o Pólo Norte celeste (PCN) e entre 0° e -90° quando contado do Equador para o Pólo Sul celeste (PCS).



A ***Declinação*** (δ) é contada sobre o *círculo horário* que passa pela estrela, a partir do Equador celeste.

A ***Ascensão Reta*** (α) é contada sobre o Equador celeste a partir do ponto vernal γ no sentido anti-horário.

Figura 24

Exemplo 5: Você deve identificar as coordenadas equatoriais celestes aproximadas da estrela (A) assinalada na carta estelar da **Figura 25**.

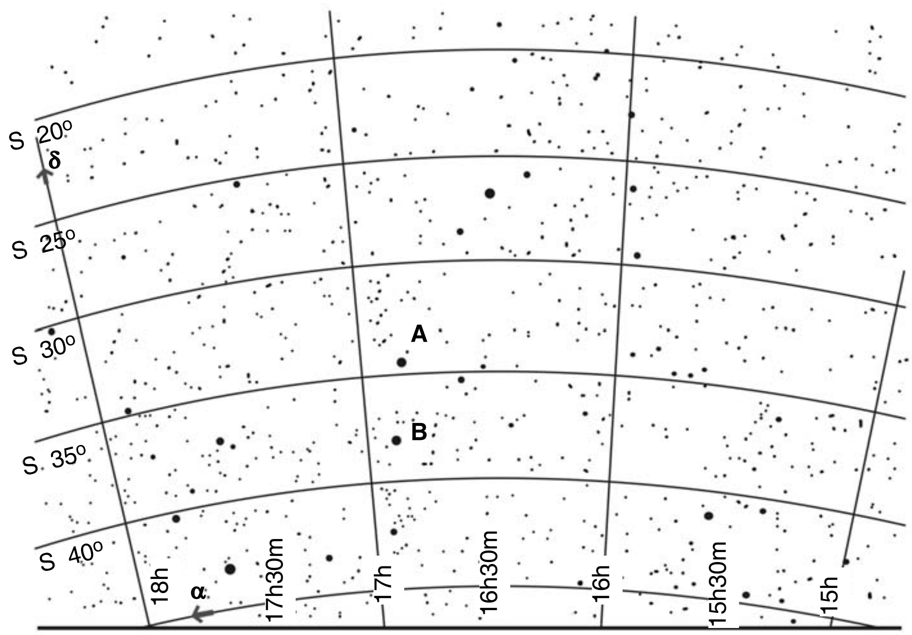


Figura 25

Resolução

Posição aproximada da estrela (A): Ascensão Reta (α) ≈ 16h50m; Declinação (δ) ≈ 34° Sul.

Nesta aula, você viu como os primitivos homens se orientavam para ir de uma vila a outra usando sistemas de localização baseados em acidentes geográficos locais. Depois, com a necessidade de ir a locais mais distantes, passaram a usar um sistema de orientação baseado em pontos cardeais. Contudo, quando se necessita de orientação mais precisa, deve-se escolher um sistema de coordenadas. Em Astronomia, mede-se a direção de chegada das radiações dos astros, e basta usar um sistema de coordenadas Esféricas para identificar a sua posição aparente na esfera celeste. Os instrumentos de medida usam o sistema de coordenadas horizontal para determinar as posições dos astros, que são catalogados em efemérides usando o sistema de coordenadas equatorial celeste, porque este não depende da posição do observador sobre a superfície da Terra.

Exercícios e Atividades

1. Você é um explorador que está em um oásis no meio do deserto e só tem uma bússola e um mapa com coordenadas geográficas mostrando que existe um outro oásis que se encontra a uns 6km de distância na direção oeste. Infelizmente, sua bússola quebrou. Como é possível ir para o outro oásis?
2. A linha meridiana define os lados Leste e Oeste como sendo os lados em que os astros nascem e se põem, respectivamente. Para um planeta que girasse em torno do seu eixo em sentido contrário ao da Terra, os lados leste e oeste ainda teriam a mesma posição em relação à linha meridiana?
3. Admitindo que o diâmetro da Terra é igual a 12.800km aproximadamente, que coordenadas retangulares um ponto com coordenadas geográficas ($\lambda = 43°$ W, $\phi = -23°$) teria? Note que o eixo X aponta para as coordenadas ($\lambda = 0°$, $\phi = 0°$), o eixo Y aponta para as coordenadas ($\lambda = 90°$E, $\phi = 0°$) e o eixo Z aponta para a coordenada ($\phi = 90°$).
4. Imagine uma esfera com 10cm de raio para a qual são fornecidas as coordenadas retangulares de um ponto ($x = 7{,}5$, $y = 4{,}33$, $z = 5$) sobre a esfera. Quais são as coordenadas esféricas do ponto (abscissa e ordenada)? Somente com essas informações você poderia localizar o ponto sobre a esfera?
5. Quais seriam as coordenadas equatoriais celestes do ponto vernal?

Atividade 1: Sistema de localização

Usando o mapa da **Figura 26**, descreva a rota que devem percorrer os mercadores de Acab para chegar primeiro até Arab e depois até Tet, em termos de acidentes geográficos encontrados pelo caminho. O alcance da visão dos mercadores é de no máximo dois quadrados (incluindo onde eles estão); sabem o que é direita e esquerda; não sabem medir distâncias e não podem atravessar a lagoa, a floresta ou o pântano.

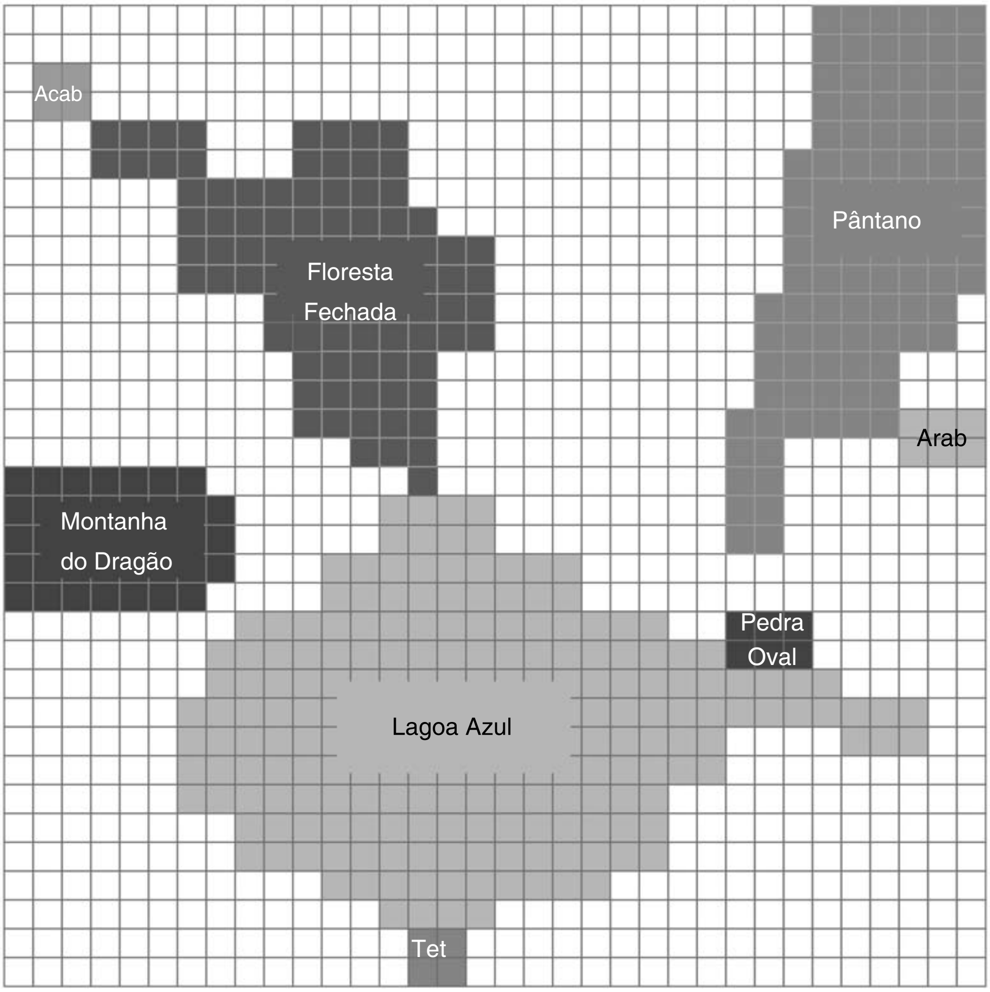


Figura 26

Atividade 2: Sistema de localização

Indique o trajeto que um turista que não conhece a cidade deve fazer para ir da estação do metrô Uruguaiana até a Igreja da Candelária (veja o mapa da **Figura 27**). O turista é capaz de ler nomes de ruas.

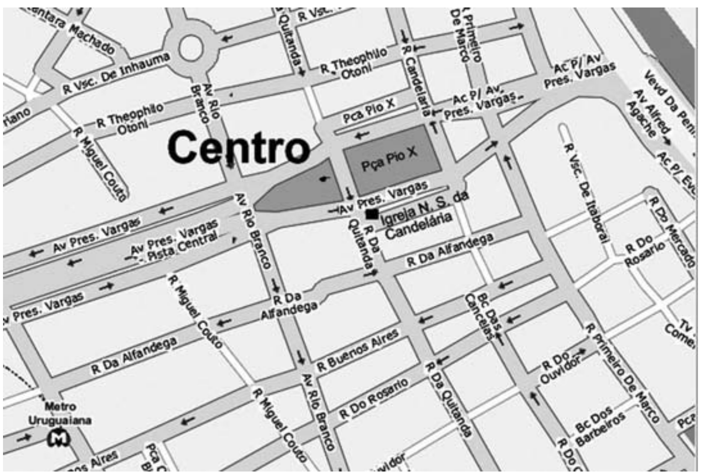


Figura 27

Atividade 3: Sistema de orientação

Usando o mapa da **Figura 28**, em que cada quadrado representa a distância de um estádio (uma medida antiga igual a 185m), descreva a rota *mais curta* (e marque com um lápis no mapa para facilitar) que os mercadores de Acab devem percorrer para chegar até Arab e depois a Tet, usando o sistema de pontos cardeais para se orientarem. Os mercadores só podem caminhar nas direções N, NE, E, SE, S, SO, O, NO e sabem medir distâncias aproximadamente, e as rotas não podem atravessar obstáculos, tais como lagos, florestas, montanhas e pântanos. Para simplificação, considere que a diagonal de um quadrado tem aproximadamente a mesma distância do lado.

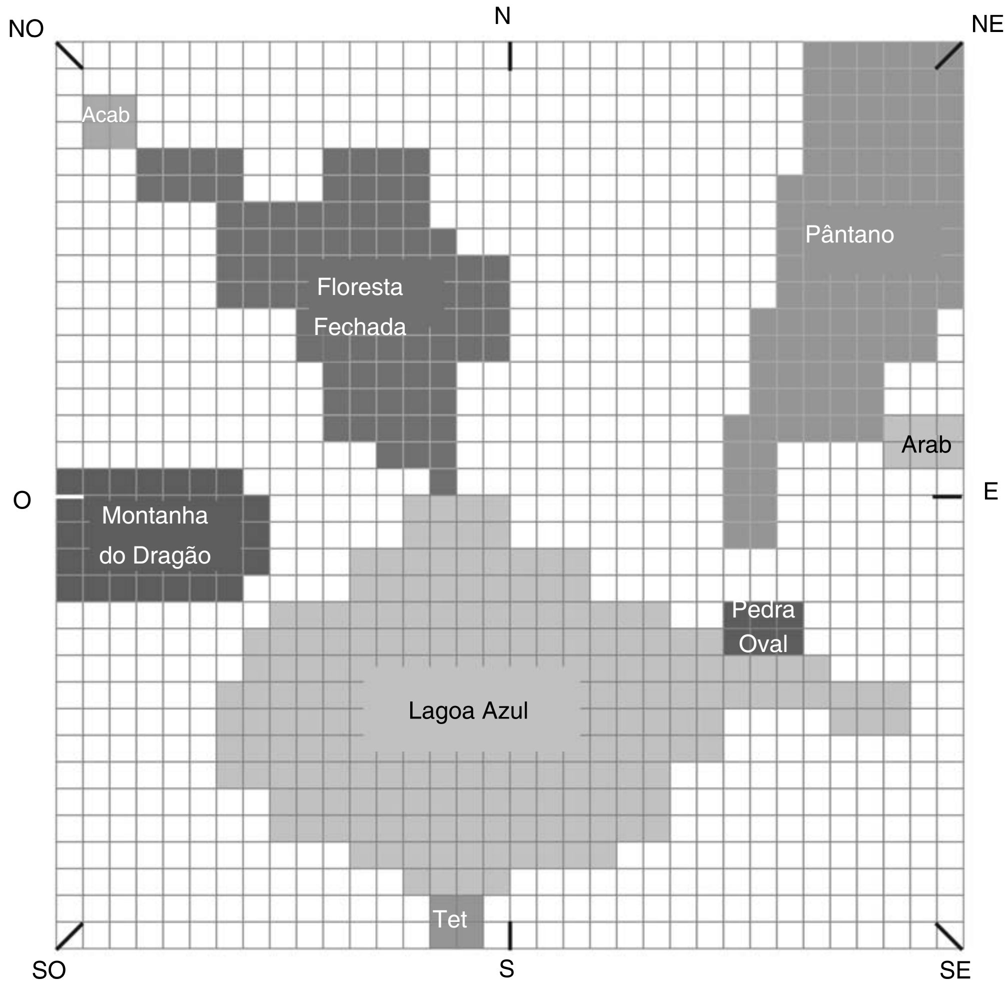


Figura 28

Atividade 4: Sistema de coordenadas cartesianas

Usando o mapa da **Figura 29**, em que cada quadrado representa a distância de um estádio (uma medida antiga igual a 185m), descreva a rota que os mercadores de Acab devem percorrer para chegar até Arab e depois a Tet, usando o sistema de coordenadas cartesianas. Cada quadrado (o centro) é representado pelas coordenadas X e Y; o ponto de partida em Acab é o quadrado (3,31), e as rotas não podem atravessar obstáculos, tais como lagos, florestas, montanhas e pântanos. Na descrição, somente serão indicados os pontos inicial e final de cada direção. Os deslocamentos só ocorrem numa direção por vez. Ex.: move-se do ponto (14,1) para o ponto (3,5), depois para o ponto (3,7), e assim por diante.

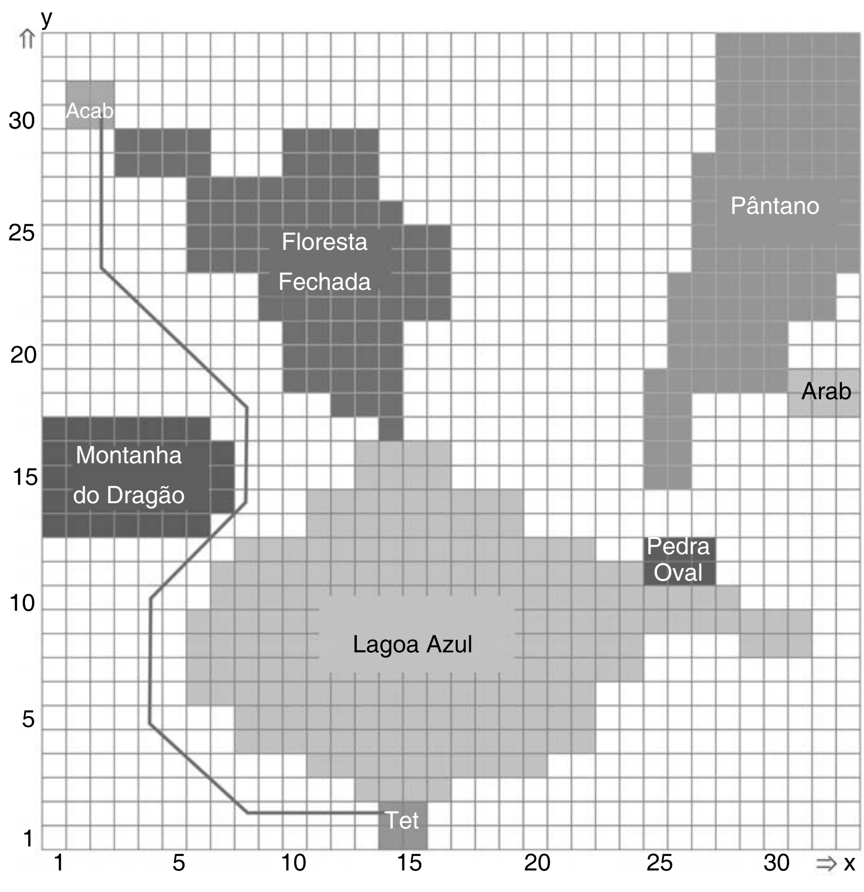


Figura 29

Atividade 5: Sistema de coordenadas esféricas

Examinando a carta estelar de uma região da constelação do Escorpião (**Figura 30**), onde os eixos na figura representam a Ascensão Reta (α) e a Declinação (δ) (S representa declinação ao sul do equador celeste), responda às questões:

a) Qual é o valor aproximado das coordenadas equatoriais celestes da estrela B?

b) Qual das estrelas (A ou B) está mais próxima do pólo celeste sul?

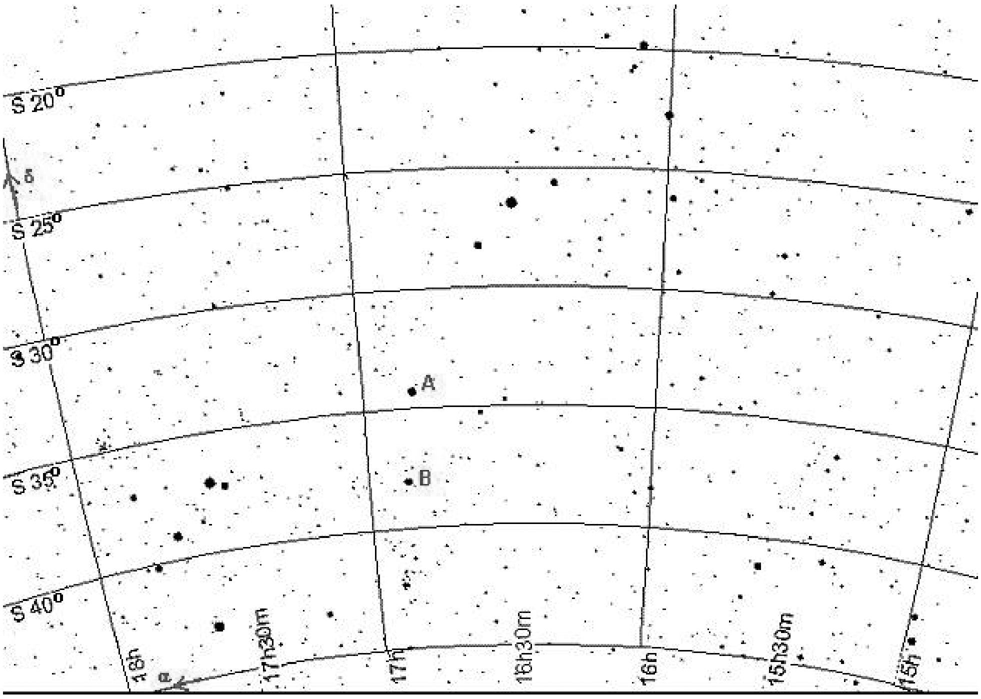


Figura 30

Orientação no tempo

Meta

Apresentar os diversos Sistemas de Contagem de Tempo que permitem ao homem registrar eventos e observar a sua evolução temporal.

Objetivo

Conhecer as principais características do Calendário Gregoriano e os principais padrões de tempo empregados para se medir instantes de tempo com precisão, com o uso de relógios.

SURGEM AS NOÇÕES DE DIA E DE MÊS

Introdução

Nesta aula, você verá que a noção de *tempo*, para o homem pré-histórico, era fornecida pelo aparecimento regular do Sol seguido da escuridão – o *dia*. Assim, o tempo era contado pelo número de aparecimentos do Sol. Um intervalo de tempo maior foi fornecido pelas variações de forma da Lua (**Figura 1**), cujo ciclo se repetia num intervalo que variava entre 29 e 30 dias (duração aproximada do ciclo de 29,5 dias). O *Ciclo da Lua* constituiu-se na primeira menção a um conhecimento astronômico (cavernas na Espanha com desenhos das fases da Lua, datadas de cerca de 7000 a.C.). Os dias foram, então, agrupados em blocos de 29 ou 30 dias, surgindo a noção de *mês*.

Figura 1

Surge a noção de ano.

Com a atenção despertada pelos fenômenos periódicos, o homem descobriu que o Sol repetia o seu posicionamento no horizonte após um certo número de dias e que havia uma correlação entre a posição do Sol e as temperaturas e fenômenos ligados ao clima (secas e enchentes). Com o surgimento da agricultura, notou também que existia uma relação entre as épocas para as atividades de plantio e o *Ciclo Solar* (duração aproximada de 365 dias), passando a adotar o *Ano Solar* como base para suas atividades.

Um CALENDÁRIO é o conjunto de regras e tabelas usado para contar o tempo por longos períodos e para organizar atividades civis e religiosas.

Definir um SISTEMA DE CONTAGEM DE TEMPO significa escolher uma origem, que é o instante a partir do qual o tempo é contado, e uma unidade de medida de tempo.

Com a crescente complexidade das atividades econômicas e sociais, surgiu a necessidade de organizar essas atividades ao longo do tempo e para isso criou-se um conjunto de regras que deram origem ao CALENDÁRIO. O calendário é um SISTEMA DE CONTAGEM DE TEMPO baseado no Ano Solar. O *Calendário Gregoriano*, usado em todo o mundo para ordenar as atividades comerciais, foi o resultado de constantes ajustes para que a duração do ano do calendário não diferisse muito da duração do ano definida pela revolução da Terra em torno do Sol.

O surgimento dos *relógios* para contar a passagem do tempo com mais precisão implicou na busca por ciclos naturais que fossem uniformes e constantes para intervalos de tempo menores do que um dia e que pudessem ser medidos através de algum mecanismo, seja por um *relógio* ou pela passagem do Sol pelo meridiano do lugar ou outro mecanismo qualquer.

Os sistemas de contagem de tempo para *grandes intervalos* são chamados de *calendários*, e os para *pequenos intervalos* são chamados de *padrões de tempo*. A necessidade fundamental de qualquer sistema para medida de tempo é estabelecer uma relação entre a unidade de medida de tempo adotada (ano, mês, dia, hora, minuto, segundo) e algum fenômeno físico observável que seja *repetitivo* e *contável* ou *contínuo* e *mensurável*, ou ambos. Para todos os sistemas, é fundamental que o fenômeno no qual a contagem do tempo é baseada *esteja livre* ou *possa ser liberado* de pequenas irregularidades periódicas para que se possa interpolar ou extrapolar.

Calendários

Uma das primeiras manifestações práticas da Astronomia foi a construção e o uso do **calendário**, que surgiu das necessidades impostas pelas atividades sociais, religiosas e econômicas. Por convenção, o *dia* é a menor unidade de medida de tempo do calendário; as medidas das frações de dia são determinadas a partir de **relógios**. A definição dos intervalos de tempo é feita segundo regras cuja origem pode ser religiosa, econômica ou astronômica. Cada conjunto de regras dá origem a um calendário diferente e, embora alguns calendários dupliquem os ciclos astronômicos segundo regras fixas, outros são baseados em ciclos repetitivos perpétuos sem nenhum significado astronômico (por exemplo, a semana).

Os principais ciclos astronômicos usados na construção de calendários são o *dia* – baseado na rotação da Terra em torno do seu eixo, o *mês* – baseado na revolução da Lua em torno da Terra e o *ano* – baseado na revolução da Terra em torno do Sol. A complexidade dos calendários baseados em ciclos astronômicos decorre do fato de os ciclos de revolução não possuírem um número inteiro de dias e, além disso, não serem constantes em duração.

Ciclos astronômicos mais utilizados nos calendários.

As crescentes dificuldades para conciliar as épocas da agricultura com o Ciclo Lunar – mensal – impuseram a necessidade da adoção de um intervalo de tempo mais longo – o **ano**.

Alguns povos, como os egípcios, usaram o ciclo solar na construção de um **Calendário Solar**. O mais antigo calendário de que se tem notícia é um Calendário Solar em vigor no Egito por volta do ano 4200 a.C. Como a duração do **Ano Solar** (chamado de Ano Trópico) é de **365, 2422** dias solares médios, o principal problema do Calendário Solar é como dividir esta duração em blocos que permitam a contagem dos dias decorridos de maneira fácil.

ANO SOLAR

O Ciclo Lunar permite a criação de um Ano Lunar composto por 12 meses lunares, com duração equivalente a 354 dias. Entretanto, como a duração do Ano Solar é cerca de 11 dias a mais do que o **Ano Lunar**, esta diferença deve ser compensada de alguma maneira. Um calendário que corrija esta diferença, acrescentando um décimo terceiro mês após certo número de anos, é chamado de **Calendário Lunissolar**.

ANO LUNAR

CALENDÁRIOS LUNAR, LUNISSOLAR E SOLAR

A necessidade da adequação das atividades sociais ao ciclo das estações, que está relacionado com a duração da revolução da Terra em torno do Sol, produziu três tipos de calendários:

- O **Calendário Solar**, construído para manter a sincronia com o **ANO TRÓPICO** (também chamado de Ano das Estações), do qual o Calendário Gregoriano é um exemplo.
- O **Calendário Lunar**, cujo exemplo é o Calendário Islâmico que segue o ciclo lunar, ignorando o Ano Trópico e se desviando sistematicamente em relação ao calendário civil.
- **Calendário Lunissolar**, que segue o ciclo lunar, mas que insere um mês inteiro, a cada intervalo de uns poucos anos, de modo a corrigir a defasagem com o calendário civil, cujo exemplo são os calendários gregos antigos.

ANO TRÓPICO é o tempo necessário para a Terra dar uma volta completa em torno do Sol.

Em geral, os povos antigos adotavam primeiro o Calendário Lunar, passando depois para o Calendário Lunissolar ao notarem a defasagem das estações e, finalmente, para o Calendário Solar.

Calendários civis e astronômicos

Segundo o seu uso, os calendários podem ser divididos em *Calendários Civis* e *Calendários Astronômicos*. Os calendários civis têm como principal função a ordenação das atividades econômicas, administrativas e religiosas, enquanto os calendários astronômicos têm como objetivo a ordenação dos registros de fenômenos astronômicos.

Calendário Civil – a Semana

No calendário civil, o ano é constituído por meses, semanas e dias. A *semana* é um ciclo repetitivo artificial, que não tem ligação com fenômenos astronômicos e parece ser uma invenção dos babilônios. Segundo alguns historiadores, sua duração de sete dias é porque existiam sete astros viajantes visíveis a olho nu entre as "estrelas fixas" do céu: Sol, Lua, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Os babilônios denominaram cada dia com o nome desses objetos, que estavam associados aos seus deuses.

Os nomes babilônicos chegaram até os nossos dias através de deuses equivalentes na mitologia grega, romana ou saxã. Por exemplo, na língua saxã que influenciou o inglês e o alemão, **Tiw**, **Wonden**, **Thor** e **Friga** representam os deuses da mitologia nórdica correspondentes a **Marte**, **Mercúrio**, **Júpiter** e **Vênus**. Na tabela abaixo, são apresentados os nomes dos dias da semana em vários idiomas.

Português	Latim Litúrgico	Latim	Espanhol	Francês	Saxão	Inglês	Alemão
Domingo	*Domenica dies*	*Solis dies*	*Domingo*	*Dimanche*	*Sun's day*	*Sunday*	*Sonntag*
Segunda-feira	*Feria secunda*	*Lunae dies*	*Lúnes*	*Lundi*	*Moon's day*	*Monday*	*Montag*
Terça-feira	*Feria tertia*	*Martis dies*	*Martes*	*Mardi*	*Tiw's day*	*Tuesday*	*Dienstag*
Quarta-feira	*Feria quarta*	*Mercurie dies*	*Miércoles*	*Mercredi*	*Wonden's day*	*Wednesday*	*Myttwoch*
Quinta-feira	*Feria quinta*	*Jovis dies*	*Juéves*	*Jeudi*	*Thor's day*	*Thursday*	*Donnerstag*
Sexta-feira	*Feria sexta*	*Veneris dies*	*Viernes*	*Vendredi*	*Friga's day*	*Friday*	*Freitag*
Sábado	*Sabbatum*	*Saturni dies*	*Sábado*	*Samedi*	*Saterne's day*	*Saturday*	*Samstag*

Dias da semana em português

Ao contrário das outras línguas, a língua portuguesa não dividiu os dias segundo os nomes dos planetas, mas segundo a liturgia cristã. No início, a semana de Páscoa para os cristãos era um período dedicado a orações, e os dias eram considerados feriados (*feriaes*, em latim). Para enumerar os feriados, começou-se pelo sábado (*shabbath*), dia de descanso para os hebreus. O dia seguinte ao sábado seria o *feria prima* (domingo), depois seria *feria secunda* (segunda-feira) e assim por diante. O imperador Flávio Constantino (280–337 d.C.), após se converter ao Cristianismo, substituiu a denominação *solis dies* ou *feria prima* por *Domenica dies* (dia do Senhor).

Embora ainda existam alguns calendários antigos mantidos por força da tradição, o calendário civil que rege as atividades econômicas no mundo de hoje é o *Calendário Gregoriano*, que teve sua origem num aprimoramento do *Calendário Juliano*, que foi instituído pelo imperador Julio César. O Calendário Gregoriano é um sistema de contagem de tempo cuja *origem* é o ano do nascimento de Cristo (1 d.C.), e a *unidade de medida de tempo* é o dia, que é definido a partir da rotação da Terra em torno do seu eixo. No ano de 1582, a diferença da data do calendário em relação ao equinócio da primavera no hemisfério norte já atingia 10 dias, e o Papa Gregório XIII instituiu uma reforma no Calendário Juliano, planejada pelo astrônomo Sélio, que consistiu em:

a) omissão de 10 dias na contagem do mês de outubro de 1582, de modo que a quinta-feira, dia 4, se seguisse à sexta-feira, dia 15;

b) todos os anos que fossem múltiplos de 4 teriam 366 dias (ano bissexto) em vez de 365;

c) os anos que fossem múltiplos de 100 deixariam de ser bissextos, exceto quando fossem também múltiplos de 400.

Apesar de ser mais preciso do que o Juliano, o Calendário Gregoriano ainda tem uma defasagem em relação ao ano solar de 0,000301 dias, o que significa que a cada 3.322 anos existe uma diferença de 1 dia entre os anos civil e astronômico, que deverá ser subtraída da data do Calendário Gregoriano.

CALENDÁRIO GREGORIANO

Como foi definida a duração média do ano no Calendário Gregoriano

Um calendário é um conjunto de regras e tabelas usado para contar o tempo por longos períodos. A nossa vida na Terra é regida pelo ciclo solar, cuja duração é igual ao tempo necessário para a Terra percorrer a órbita completa em torno do Sol. Este tempo é chamado genericamente de **ano**. O ano é contado em termos de **dias solares**, que representam o intervalo de tempo necessário para o Sol dar uma volta completa na Eclíptica. O *ano astronômico* tem **365, 242199** dias solares. O grande problema é como poderemos manter a duração do ano usado pelas pessoas (ano definido pelo calendário) próximo do ano definido pela astronomia (ano trópico) usando apenas dias inteiros.

O **Dia da Páscoa Cristã** é o primeiro domingo depois da Lua Cheia que ocorre no dia ou depois de 21 de março. A data da Lua Cheia é fixada pelas tabelas eclesiásticas, que não levam em conta o movimento complexo da Lua, mas fornecem uma posição próxima da Lua real.

Historicamente, o calendário usado pelos sumérios considerava a duração do ano igual a 360 dias, que eram divididos em 12 meses, com duração idêntica de 30 dias. Logo ficou evidente que havia uma defasagem entre a duração do ano do calendário e o ano solar, impelindo os sumérios a passar a adotar um ano com 365 dias. Os egípcios também adotaram inicialmente um calendário com duração de 365 dias, passando depois a considerar um ano com duração média de 365, 25 dias, que ganhou o nome de *Calendário Juliano* quando foi adotado pelos romanos na reforma de 46 a.C. O **Calendário Juliano** usava o procedimento de adotar um ano com 366 dias a cada quatro anos, chamado *ano bissexto*. Ainda assim, persistia uma diferença entre o ano do calendário e o ano do ciclo solar. O Concílio de Nicéia, em 325 d.C., estabeleceu regras para fixar a data da Páscoa Cristã. Devido à defasagem da data da Páscoa em relação ao Calendário Juliano, o papa Gregório XIII patrocinou uma reforma do calendário. Surgiu, então, o **Calendário Gregoriano**, cuja duração média é de **365, 2425** dias e tem uma defasagem pequena em relação ao ano astronômico (cerca de 0,000301 dia = 365, 2425 – 365, 242199).

A regra para obter a duração média do Ano do Calendário Gregoriano, que é igual a 365,2425, é obtida fatorando este valor:

$365,2425 = 365 + (0,25 - 0,01) + 0,0025$

$365,2425 = 365 + 1/4 - 1/100 + 1/400$

Ou seja, a cada quatro anos devo acrescentar um dia (ano bissexto); mas, se o ano for divisível por 100, vou subtrair um dia; entretanto, se o ano for também divisível por 400, acrescento um dia.

Exemplo 1

Calcule o número de dias do ano 2000 segundo o Calendário Gregoriano.

Solução

a) O ano 2000 é divisível por 4 => A duração do ano será de 365 + 1 dia = 366 dias.

b) O ano 2000 também é divisível por 100 => A duração do ano será 365 + 1 – 1 dia = 365 dias.

c) O ano 2000 também é divisível por 400 => A duração do ano será 365 + 1 – 1 + 1 dia = 366 dias.

Logo, o ano 2000 foi um ano bissexto com duração de 366 dias.

Para saber mais

A maioria dos calendários em uso conta os anos a partir de épocas iniciais, que são caracterizadas por acontecimentos especiais, tais como nascimento de reis e imperadores, fatos históricos ou eventos lendários. A maneira mais fácil de manter uma cronologia dos eventos históricos é contar os anos a partir de uma época inicial. O Calendário Cristão tem a data do nascimento de Cristo como sua época inicial – ano 1. Esta época foi estabelecida pelo monge Dionísius Exiguus, a partir de uma compilação das datas da Páscoa. Para Dionísius, o Ano do Senhor (A.D. – *Anno Domini*) de 532 era equivalente ao Ano Diocleciano de 248, fato que definiu o ano do nascimento de Jesus Cristo e o início da **Era Cristã**.

A palavra **Era** define a série de anos que vão decorrendo desde um instante de referência inicial. Assim, temos a **Era Cristã**, que começa com o ano do nascimento de Cristo; a **Era da Hégira**, que começa com a fuga de Maomé de Meca para Medina; a **Era Bizantina**, que conta os anos a partir da criação do mundo, que teria ocorrido no ano 5510 a.C.; e muitas outras.

Para tentar diminuir a confusão causada pelas diversas eras históricas, Joseph Justos Scalinger (1540-1609) propôs, em 1583, um sistema que poria todas as datas cronologicamente organizadas – o **Período Juliano**. O Período Juliano é um sistema de medida de tempo usado em Astronomia para medir intervalos de tempo muito grandes e datar cronologicamente os fenômenos astronômicos, usando o *dia* como unidade. Também é usado pelos historiadores para correlacionar eventos históricos ocorridos em diversas civilizações.

No Período Juliano, os dias são contados ininterruptamente a partir de **1 de janeiro de 4713 a.C.**, e a unidade de medida é o *dia*. Essa data é o início de um ciclo cronológico de **7.980 anos**, que é obtido através da soma de três ciclos cronológicos importantes:

a) **Ciclo Solar de 28 anos**, o menor período no qual os mesmos dias da semana se repetem nas mesmas datas do Ano Juliano. Sua contagem tem início no ano 9 a.C.

b) **Ciclo Lunar de 19 anos**, o menor período em que as fases da Lua se repetem nas mesmas datas do calendário, cuja contagem tem início no ano de 1 a.C.

c) **Indicção Romana**, um período arbitrário de 15 anos, criado pelos romanos no ano 3 a.C. para cobrança de impostos.

A data inicial para a qual os três ciclos coincidiam foi o ano de 4713 a.C. Como na época de Scalinger e até 1925 o Dia Solar começava ao meio-dia, o **DIA JULIANO (DJ)** é contado a partir de 12 h no Meridiano de Greenwich. A Data Juliana correspondente às 12 h do dia 30 de dezembro de 2006 é o *DJ 2.454. 100*, o que significa que se passaram 2.454.100 dias desde as 12 h do dia 1º de janeiro de 4713 a.C. Um conversor entre Dia Juliano e datas do Calendário Gregoriano pode ser usado em http://www.astron.nl/~foley/JulianDate.html.

DIA JULIANO é uma contagem contínua de dias que se passaram desde a época inicial, definida como 12h no Meridiano de Greenwich, segunda-feira, do dia 1º de janeiro de 4713 a.C.

Divisão do dia

A divisão do tempo em unidades regulares e previsíveis é fundamental para o funcionamento da sociedade. Os calendários tratam da divisão da duração do ano em dias, que por sua vez podem ser divididos em intervalos menores de horas, minutos e segundos. Há cerca de 5.000–6.000 anos, as grandes civilizações no Oriente Médio e Norte da África iniciaram a construção de **relógios**, que são a materialização do sistema de medida de tempo. Essas culturas encontraram a necessidade de organizar o seu tempo mais eficientemente, para atender às necessidades comerciais e religiosas. Os mais antigos relógios nasceram provavelmente nas civilizações dos egípcios e dos sumérios.

A altura do Sol no céu e a variação do tamanho das sombras projetadas por objetos fixos, tais como montanhas, árvores e pedras, ao longo da parte clara do dia, foram o ponto de partida para a divisão do Dia em partes mais definidas. A mudança no comprimento da sombra de um objeto, que encurtava na direção do meio-dia e crescia de novo na direção do pôr-do-sol, deu a idéia de como medir o tempo. A observação da altura do Sol no céu sugeriu ao homem a divisão do dia claro em partes. O aparecimento do **Relógio de Sol**, provavelmente no antigo Egito, a pelo menos 3.500 anos (mais antigo conhecido), permitiu a divisão do Dia Claro em 12 partes, que variavam em duração conforme a estação do ano – maiores no verão e menores no inverno.

DIVISÃO DO DIA CLARO EM 12 PARTES

Atividade 1

Construção de um Relógio de Sol inclinado. Com esta finalidade, recorte a figura da Atividade 1 deste módulo.

MOVIMENTO DIURNO é o deslocamento aparente dos astros no céu devido à rotação da Terra em torno do seu eixo.

Logo, o homem notou que as estrelas apresentavam movimentos no céu, que poderiam ser usados para dividir a noite. O movimento aparente das estrelas no céu deve-se, na realidade, à rotação da Terra em torno do seu eixo. Esse deslocamento, chamado de **MOVIMENTO DIURNO** (**Figura 2**), faz as estrelas percorrerem uma trajetória aparente no céu, onde seu surgimento acima do horizonte (chamado de nascer) se dá do lado leste e seu desaparecimento (chamado de ocaso), do lado oeste. Como a Terra gira em torno do seu eixo em 24 horas, a altura sobre o horizonte de estrelas brilhantes pode ser usada para dar uma indicação do intervalo de tempo durante a noite.

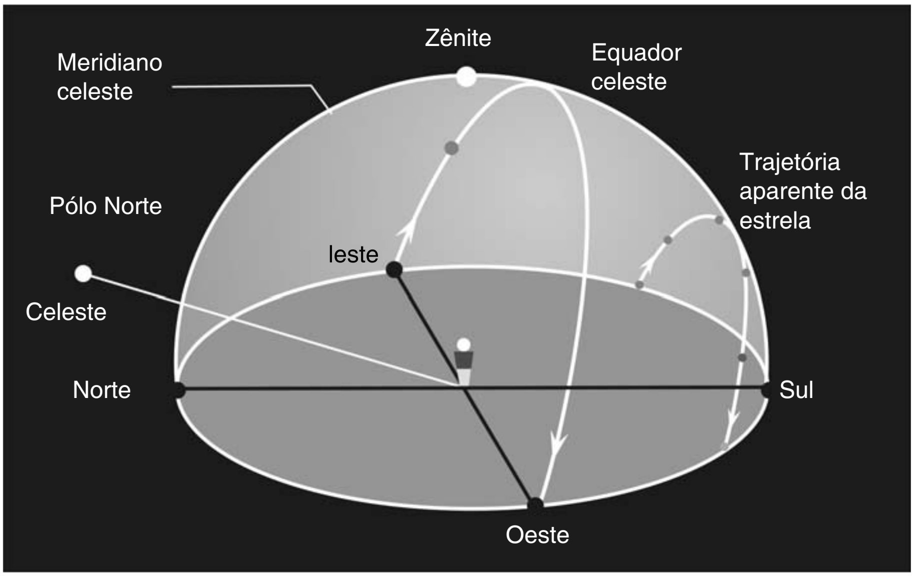


Figura 2

DIVISÃO DA NOITE EM 12 PARTES

Contudo, como as estrelas mudavam o instante do nascer durante o ano devido ao movimento de revolução da Terra em torno do Sol (veja Aula 3), havia necessidade de se usar várias estrelas para a marcação do intervalo de tempo noturno. Os egípcios foram os primeiros a dividir a *Noite* em **12 partes**, usando o instante de passagem de conjuntos de estrelas igualmente espaçados no céu ao longo da Eclíptica, chamados de *Decanos* (na **Figura 3** está representado Sothis – Sirius), pelo **Meridiano do Lugar** (veja Aula 1).

Figura 3

Exemplo 2

De quantos graus devem estar separados os grupos de estrelas decanas para dividir a noite em 12 partes?

Solução

Como a esfera local tem 180^{o} visíveis, para que ela seja dividida em 12 partes é necessário que a separação entre as estrelas decanas seja de 180°/12 = 15°.

Os relógios

O QUE É UM RELÓGIO?

O relógio pode ser definido como um dispositivo natural ou artificial utilizado para definir uma escala de tempo ou para determinar o instante de um evento. O funcionamento de todos os tipos de relógio depende de dois componentes básicos: um processo ou ação regular, constante e repetitivo, para marcar incrementos de tempo iguais; e um modo de acompanhar os incrementos de tempo e mostrar o resultado.

RELÓGIO DE SOL

Os primeiros relógios eram baseados no movimento do Sol – **Relógios de Sol** (**Figura 4**) e foram seguidos pelos **Relógios de Água**. A precisão das medidas de tempo usando tais tipos de relógio não era muito grande. A grande revolução na marcação do tempo começou com o aparecimento dos **Relógios Mecânicos** em meados do século XIV, seguido dos **Relógios a Quartzo** na década de 30 (1930–1940) e dos **Relógios Atômicos** a partir de 1957.

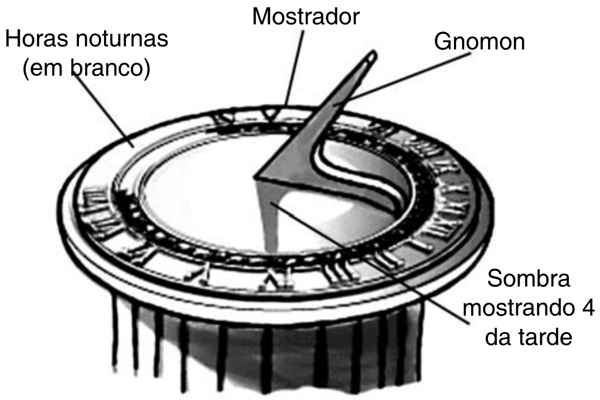


Figura 4

RELÓGIO ATÔMICO

O primeiro relógio atômico foi desenvolvido em 1949 no National Institute of Standards and Technology (NIST). Esse relógio atômico estava baseado na linha de absorção da molécula da amônia. O desempenho desse relógio não foi muito melhor do que os padrões a quartzo então existentes. Em 1952, o National Bureau of Standards (NBS), antigo nome do NIST, anuncia o primeiro relógio atômico baseado em transições de elétrons entre órbitas no átomo de Césio. O desenvolvimento de padrões baseados em átomos levou à redefinição do *segundo internacional*, em 1967, como sendo:

DEFINIÇÃO DO SEGUNDO

"A duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo Césio 133."

Relógios atômicos cada vez mais precisos foram construídos, e o atual padrão de precisão máxima é o **NIST-F1**, que entrou em operação em 1999 e tem uma incerteza de **1×10^{-10} seg/dia**, o que significa que ele pode adiantar ou atrasar um segundo em cerca de 10 bilhões de dias (1 seguido de dez zeros = 10.000.000.000), o que equivale a um intervalo de tempo de 30 milhões de anos aproximadamente.

A Terra como relógio

A definição da unidade de tempo é um problema quando se necessita de alta precisão, primeiro porque se precisa definir exatamente o período do ciclo repetitivo (a rotação ou revolução) e segundo porque os fenômenos astronômicos não são regulares. Até metade do século passado, a rotação da Terra em torno do seu eixo era considerada um fenômeno constante e regular e, por isso, usado para definir dois *Padrões de Tempo* usados em Astronomia, cada um resultando numa *Escala de Tempo*: **Tempo Sideral** e **Tempo Solar.**

Os padrões de tempo baseados na uniformidade da rotação da Terra em torno do seu eixo são chamados de **Tempos Rotacionais**.

Os tempos baseados na rotação da Terra são chamados de *Tempos Rotacionais*. Determinar a duração do movimento de rotação da Terra significa medir o movimento angular do Meridiano Local do Observador (ponto O – **Figura 5**) em relação a um Ponto Fixo (Ponto A) sobre a esfera celeste. Marcamos o instante em que o ponto A passa pelo meridiano (direção indicada pela linha tracejada) e, quando ele torna a passar, dizemos que ocorreu um intervalo de 24 h. Portanto, o ângulo que o meridiano faz com a direção do ponto fornece a hora. Infelizmente, não existe um ponto fixo na esfera celeste, e todos os pontos de referência que encontramos no céu são móveis. Além disso, a velocidade angular de rotação da Terra apresenta variações seculares, sazonais e diárias, fazendo com que a duração da rotação varie de alguns milissegundos em torno do valor de 24 h. De modo geral, a Terra está desacelerando devido ao efeito de marés, o que significa que a duração do dia está ficando cada vez maior. Apesar disso, ainda usamos a rotação da Terra para obtermos diferentes escalas de tempo (*Tempo Sideral* ou *Tempo Solar*).

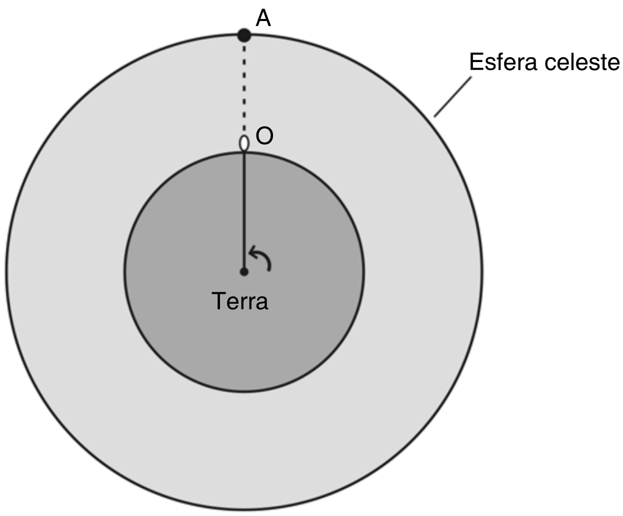


Figura 5

TEMPO SIDERAL

No *Tempo Sideral*, a duração do *Dia Sideral* é o intervalo entre duas passagens consecutivas do **Ponto Vernal** (definido na Aula 1) pelo Meridiano do Lugar. O *Ponto Vernal* tem um movimento de retrogradação (sentido dos ponteiros do relógio na figura) devido à ação das forças gravitacionais do Sol, da Lua e dos planetas sobre a Terra. O *Tempo Sideral* não é uma escala de tempo conveniente para ser usada no dia-a-dia, porque ele se defasa, cerca de quatro minutos a cada dia, do tempo obtido a partir do Sol Médio (veja caixa Tempo Solar x Tempo Sideral). O Tempo Sideral é usado em Astronomia e está relacionado com o Tempo Solar através de fórmulas rigorosas.

No *Tempo Solar*, a duração do *Dia Solar* é o intervalo entre duas passagens consecutivas do centro do **Sol Médio** pelo Meridiano do Lugar. O *Sol Médio* é um sol fictício que percorre a Eclíptica com velocidade constante e tem um movimento angular de cerca de 1° por dia (360°/365,25 dias).

Tempo Solar

O Sol real parece percorrer um caminho entre as estrelas ao longo do ano, denominado **Eclíptica** (linha tracejada na **Figura 6**). Na realidade, este efeito deve-se à posição do observador na Terra, que é quem efetivamente revoluciona em torno do Sol. A órbita da Terra tem a forma de uma elipse (você verá mais detalhes na próxima aula) e devido a isso as velocidades da Terra na órbita variam, passando por um máximo (~30,3 km/s), quando está mais próxima do Sol, e diminuindo até aproximadamente 29,3 km/s, quando se encontra mais afastada do Sol. Essa variação de velocidades se reflete na posição do Sol real, dando a impressão de que é o Sol que varia suas velocidades no seu trajeto anual. Como um relógio precisa de um processo constante, regular e repetitivo, a variação de velocidades do Sol não o indica como um ponto de referência adequado para medir a rotação da Terra. Entretanto, como nos orientamos pelo Sol na vida diária, criou-se um *Sol fictício* que percorre a Eclíptica com velocidade constante e que é usado para definir o *Dia Solar Médio* cuja duração não variará ao longo do ano. O Tempo Solar Médio é o tempo indicado pelos nossos relógios (veja *applet* em *flash* sobre a posição do Sol ao longo do ano em relação ao fundo de estrelas em http://physics.unl.edu/~klee/ast103/flash/zodiac016.swf).

Dia Solar Médio é o intervalo entre duas passagens consecutivas do Sol fictício pelo Meridiano do Lugar.

Os Relógios medem o **Tempo solar Médio**.

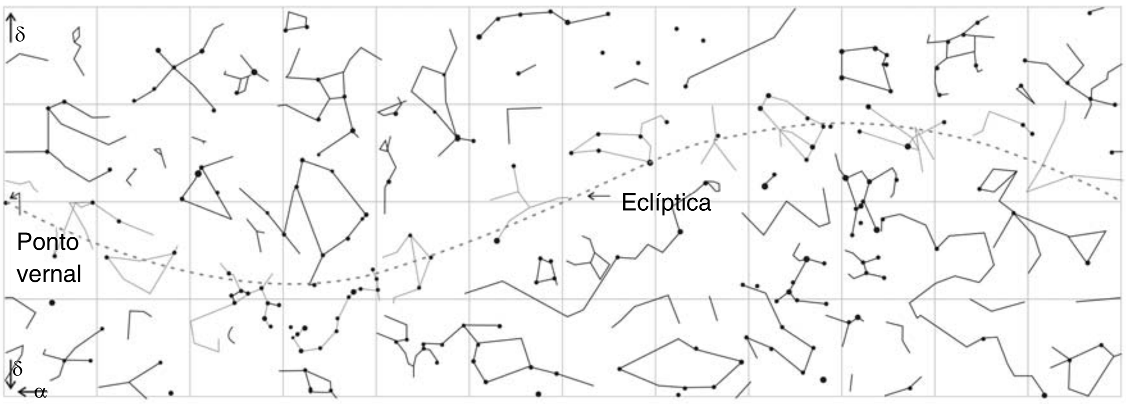


Figura 6

O Tempo Solar Médio não é conveniente para uso nas atividades diárias porque começa ao meio-dia do lugar de observação. Por isso, definimos o **Tempo Civil** (TC), que é o Tempo Solar Médio aumentado de 12h, isto é, começa a ser contado a partir da meia-noite média. Como o Tempo Solar Médio é definido para cada meridiano da Terra, a diferença entre os Tempos Civis de dois lugares situados sobre meridianos diferentes será igual à diferença entre as respectivas longitudes geográficas.

TEMPO CIVIL

$$TC_1 - TC_2 = \lambda_1 - \lambda_2$$

A longitude será *negativa* quando o lugar está a *oeste*; e *positiva* quando a *leste* do meridiano de Greenwich. Assim, a longitude para o Rio de Janeiro é aproximadamente -2h52min (- 43°) porque a cidade está a oeste do Meridiano de Greenwich.

Exemplo 3

Qual seria a diferença entre os Tempos Civis das cidades do Rio de Janeiro (λ = -2h 52min) e Brasília (λ = -3h 12min)?

Solução

Usando a fórmula, tem-se que a diferença será $TC_1 - TC_2 = \lambda_1 - \lambda_2 =$ -2h52m + 3h12min = 20 min.

Se cada lugar usasse o Tempo Civil apropriado para cada meridiano, haveria uma enorme confusão nas atividades civis, porque para cada lugar da pessoa corresponderia a uma hora ligeiramente diferente em virtude de estar em longitudes diferentes.

SISTEMA INTERNACIONAL DE FUSOS HORÁRIOS

Para facilitar o uso do Tempo Civil na vida prática, foi criado o **Sistema Internacional de Fusos Horários**, e a Terra foi dividida em 24 zonas (**Figura 7**), cada uma com largura de 15° (1 hora) de longitude. A origem do sistema é o Fuso 0h, que é dividido pelo Meridiano de Greenwich em duas partes iguais (7,5° para cada lado). Os fusos são contados de 0h a +12h para leste e de 0h a -12h para oeste de Greenwich. A Terra foi dividida em 24 fusos e, por convenção, as regiões que estivessem dentro do fuso teriam a mesma hora do meridiano central. Denota-se por F a indicação horária do fuso, isto é, a longitude do Meridiano Central do Fuso. O Tempo do Fuso ou **Tempo Legal** (TL) é o tempo civil para o meridiano central do fuso, que é usado para todas as regiões dentro do fuso. O Brasil, por causa de sua extensão territorial, em longitude, abrange três fusos (a partir de 25/6/2008 – Lei Nº 11.662): do fuso -4h ao fuso -2h (**Figura 8**).

TEMPO LEGAL

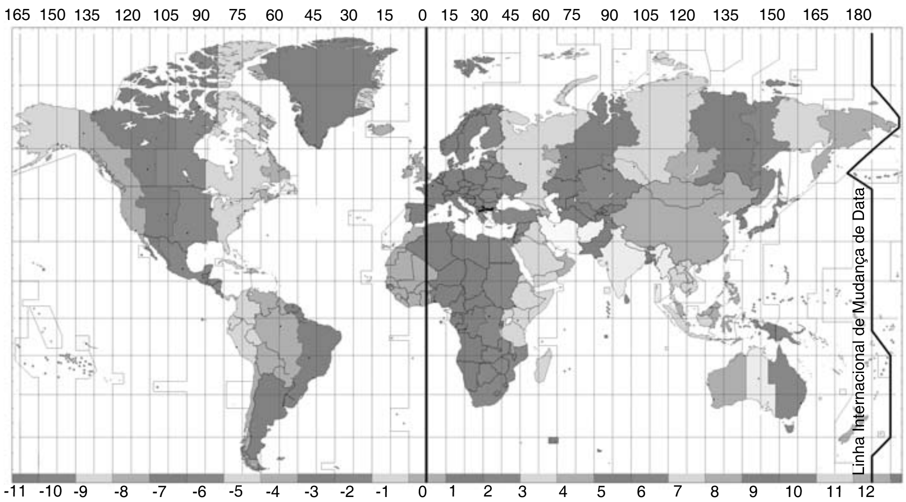


Figura 7

LINHA INTERNACIONAL DE MUDANÇA DE DATA

Existe uma linha, oposta ao Meridiano de Greenwich, que marca a mudança de data. A **Linha Internacional de Mudança de Data**, que define o **fuso de 12h**, foi traçada de modo irregular (**Figura 7**) sobre uma região de oceano, para causar o menor problema possível. Quando se passa pela Linha no sentido de **leste para oeste**, deve-se **somar 1 dia** à data; quando se passa de **oeste para leste**, deve-se **subtrair 1 dia**.

Exemplo 4

Qual seria a data da chegada de um viajante que saiu de Tóquio, Japão, em direção a Honolulu, Havaí, no dia 10 de janeiro?

Solução

A cidade de Tóquio encontra-se do lado oeste, e Honolulu encontra-se a Leste da Linha Internacional de Mudança de Data. Ao cruzar a linha passando de oeste para leste, a data passa a ser dia 9 de janeiro.

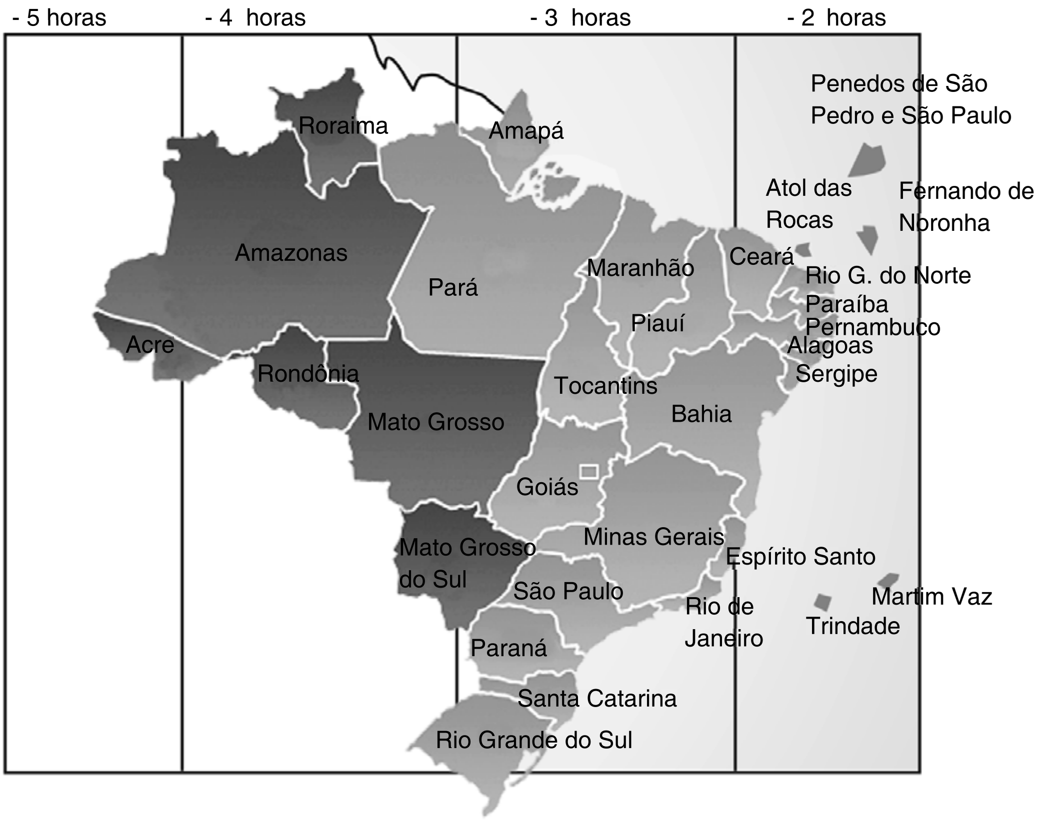


Figura 8

Devido a conveniências políticas e econômicas, países ou regiões que deveriam ter a hora num determinado fuso escolhem a hora do fuso anterior ou posterior. Podemos citar como exemplo a Argentina, cujo fuso seria de **-4 h** e adota o fuso de **-3 h**, que é o fuso das principais regiões econômicas do Brasil. Existem ainda alguns poucos países (principalmente na Ásia e na Oceania) que adotam um fuso quebrado de meia hora, como a Índia (+5,5 h) e o Paquistão (+4,5 h).

Tempo Universal

Para uniformizar a determinação do Tempo Civil em toda a Terra, foi criado, em 1926, o **Tempo Universal** (**TU**), que é o **Tempo Civil do Meridiano de Greenwich**. A relação entre o Tempo Legal e o Tempo Universal é:

$$\mathbf{TL = TU + F}$$

Exemplo 5

O relógio no Meridiano de Greenwich marca 18h40m. Que horas você veria no seu relógio no Rio de Janeiro (fuso = -3h)?

Solução

O tempo no Meridiano de Greenwich é o Tempo Universal (TU), e o tempo marcado no Rio de Janeiro é o Tempo Legal (TL). Logo, você veria no seu relógio TL = 18h 40m - 3 h = 15h 40m.

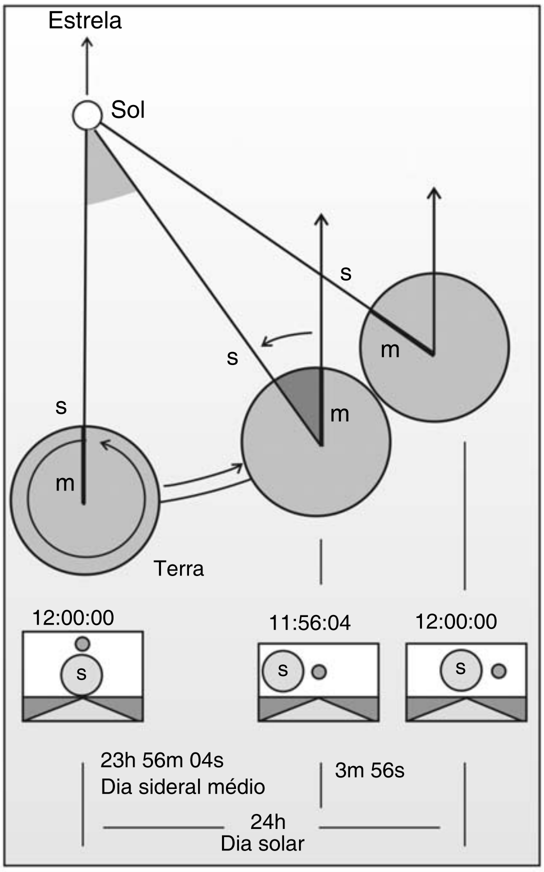


Figura 9

Tempo Solar x Tempo Sideral

Embora tanto o *Dia Sideral* quanto o *Dia Solar* tenham duração de 24 h, existe uma diferença entre as *Escalas de Tempo*. Enquanto a Terra gira em torno de seu eixo, ela também está se movimentando na sua órbita em torno do Sol. Seja um instante inicial em que o Sol e uma estrela distante estejam alinhados (**Figura 9**) e passando pelo meridiano do observador (m). Neste instante, disparamos dois relógios, um marcando Tempo Sideral e outro marcando Tempo Solar; ambos indicam 12:00:00.

Depois de uma volta completa da Terra, a estrela cruzará o meridiano, mas o Sol ainda não o cruzou. Neste instante, tem-se o Dia Sideral (pode-se associar a posição de uma estrela distante com o Ponto Vernal). O relógio que marca o Tempo Sideral indica 12:00:00, e o que marca tempo solar indica 11:56:04.

Quando o Sol cruzar o meridiano, tem-se o Dia Solar, e o relógio que marca o tempo solar indica 12:00:00 e o de Tempo Sideral indica 12:03:56.

Se a Terra estivesse parada, não girando em torno do Sol, as duas escalas seriam iguais, mas como a Terra deslocou-se na sua órbita ela precisa girar de um pequeno ângulo para que o Sol passe pelo meridiano do observador. Esta diferença angular é a responsável pelas durações desiguais entre o dia sideral médio e o dia solar médio, que é de cerca de 4 min. Mais exatamente as relações são:

24h Tempo Solar Médio $\cong$ 24h 3m 56s Tempo Sideral Médio

24h Tempo Sideral Médio $\cong$ 23h 56m 04s Tempo Solar Médio

Exemplo 6

Estime o dia Sideral a partir do dia Solar imaginando que o plano da eclíptica coincide com o plano do Equador e que o ano astronômico vale 365,25 dias solares. Na **Figura 10** estão representados um observador A da superfície da Terra e o Sol no instante em que se começa a medir o tempo. Utilize um observador inercial.

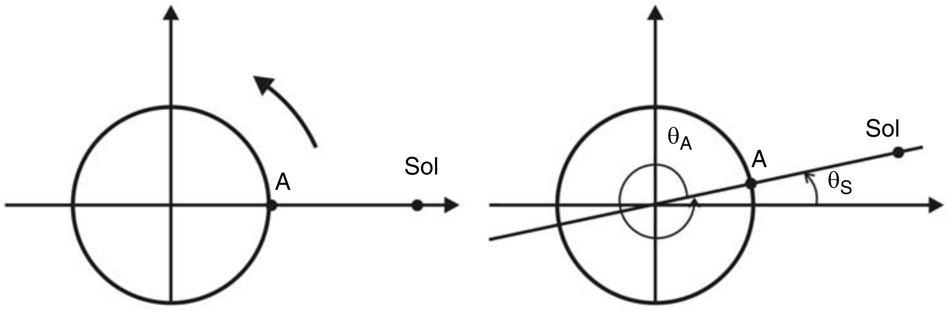


Figura 10

Solução

A velocidade angular do observador A em relação ao referencial inercial é $\omega_T = \dfrac{360^o}{t_{Sideral}}$ ($t_{Sideral}$ expresso em Tempo Solar). A velocidade angular do Sol é dada por $\omega_S = \dfrac{360^o}{365{,}25}$. Os ângulos percorridos pelo observador A e pelo Sol até se encontrarem novamente 24 horas solares (1 dia solar) depois são:

$$t = 1d; \quad \theta_A = \omega_A t = \frac{360^o}{t_{Sideral}}; \qquad \theta_S = \omega_S t = \frac{360^o}{365{,}25}$$

A figura mostra que a relação entre estes ângulos é dada por:

$\theta_A = \theta_S + 360^o \Rightarrow \dfrac{360^o}{t_{Sideral}} = \dfrac{360^o}{365{,}25} + 360^o \Rightarrow t_{Sideral} \cong$ 23h 56 min (medido em tempo solar)

Atividade 2

Construção de um relógio baseado nas estrelas. Com esta finalidade, recorte a figura da Atividade 2 deste módulo.

Outras escalas de tempo

A primeira Lei de Newton nos fornece um modo de definir uma escala de tempo uniforme, dada pelos deslocamentos retilíneos iguais e sucessivos de uma partícula livre. Esse sistema de medida de tempo, chamado de **Tempo da Mecânica**, é uma abstração, uma vez que não existe possibilidade prática de se observar uma partícula livre.

Nas equações da Mecânica Clássica, o tempo é sempre considerado como variável independente e absolutamente uniforme. Entretanto, antes do reconhecimento formal das variações da velocidade angular da Terra, o argumento das efemérides astronômicas era o *Tempo Universal* (uma forma de tempo solar). As discrepâncias encontradas entre as posições calculadas dos corpos do Sistema Solar e as observadas não podiam ser atribuídas unicamente a erros de observação ou a imperfeições das teorias adotadas. A análise dos afastamentos aparentes do Sol, da Lua e dos planetas de suas posições calculadas permitiu estabelecer a existência de uma diminuição regular na velocidade de rotação da Terra. As variações regulares e as perturbações irregulares na velocidade de rotação da Terra, embora algumas muito pequenas para serem detectadas diretamente, produzem discrepâncias mensuráveis, devido aos seus efeitos cumulativos, em fenômenos observáveis por longos intervalos de tempo. Os registros históricos de eclipses e ocultações de estrelas pela Lua têm sido os principais recursos para a determinação da regularidade da rotação terrestre. Estes efeitos são amplificados para a Lua e planetas interiores.

TEMPO DAS EFEMÉRIDES

Para evitar as discrepâncias entre os resultados observacionais e os calculados, especialmente no caso da Lua, os astrônomos aplicaram uma correção ao Tempo Solar Médio com a intenção de reduzi-lo a um padrão uniforme. Em 1958, a União Astronômica Internacional (IAU), de acordo com as recomendações da Conferência Internacional sobre Constantes Astronômicas (Paris, 1950), denominou **Tempo das Efemérides** o Tempo Universal reduzido ao padrão uniforme.

ESCALAS DE TEMPO DINÂMICAS

O *Tempo das Efemérides,* além de ser dependente de detalhes da teoria da Lua, não levava em consideração os efeitos esperados de acordo com as teorias da Relatividade Restrita e Geral. Por causa disso, em 1984, o Tempo das Efemérides foi substituído pelas **Escalas de Tempo Dinâmicas**. As escalas são chamadas de dinâmicas porque usam os movimentos planetários e lunares calculados a partir das leis da dinâmica, como a escala de Tempo das Efemérides, mas considerando as equações relativísticas de movimento.

TEMPO ATÔMICO

A partir de 13 de outubro de 1967, a unidade legal e internacional de tempo (Sistema Internacional) passou a ser definida pela escala de **Tempo Atômico Internacional (TAI)**. A unidade de tempo da escala é o **Segundo Atômico** (definido como segundo internacional). Os relógios agora passam a marcar os instantes pelo tempo atômico, e não mais pelo tempo solar médio. Como a marcha do Tempo Atômico é mais rápida do que a do Tempo Solar Médio, periodicamente é introduzida uma correção de 1 segundo, de tal modo que os dois tempos nunca tenham uma diferença maior do que 0,9 segundo.

Nesta aula, você viu que os calendários surgiram da necessidade de se prever as datas do plantio e de organizar as atividades comerciais e religiosas. Os primeiros calendários usaram o ciclo lunar para criar um calendário anual, que foi depois substituído pelo ciclo solar. O ajuste entre a duração do ano astronômico (origem das estações) e o ano do calendário evoluiu até o surgimento do Calendário Gregoriano, que é usado no mundo todo para a realização de negócios. O Período Juliano é um tipo de calendário criado para facilitar o estudo da evolução temporal de fenômenos astronômicos e históricos. A necessidade de se determinar pequenos intervalos de tempo levou à criação dos relógios. A escolha de Padrões de Tempo astronômicos decorreu da crescente necessidade de precisão das medidas. A primeira escolha de um processo cíclico para medir o tempo foi a rotação da Terra, que introduziu duas escalas de tempo: Tempo Sideral e Tempo Solar. Como a rotação da Terra não é regular, como se pensava inicialmente, o padrão rotacional foi substituído pelo padrão gravitacional, baseado na revolução dos corpos em torno de outros. Num primeiro momento, definiu-se uma escala usando-se a Mecânica Newtoniana – Tempo das Efemérides, que também não se mostrou regular o suficiente. Através da aplicação dos preceitos da Mecânica Relativística, foram introduzidas várias escalas denominadas Tempo Dinâmico. Por outro lado, o uso de propriedades quânticas da matéria levou à criação do Tempo Atômico. Até o momento, as marchas do Tempo Dinâmico e do Tempo Atômico são iguais e parecem ser igualmente precisas.

Exercícios e Atividades

1. Qual é a diferença entre um calendário lunar e um lunissolar?

2. De quantos em quantos anos você teria de corrigir de um dia a defasagem entre um calendário com duração média de 365,2400 dias e o ano astronômico? Você teria de subtrair ou somar 1 dia?

3. De quantos graus os grupos de estrelas chamados de decanos teriam de estar afastados entre si para que sua passagem pelo meridiano dividisse a noite em 10 partes iguais?

4. Se a Terra girasse duas vezes mais rápido em torno do Sol, o que aconteceria com a diferença entre o dia sideral médio e o dia solar médio?

Atividade 1: Construção de um relógio de sol inclinado

Você vai construir um Relógio de Sol adaptado para a latitude do Rio de Janeiro (~ -23°), embora possa ser usado para latitudes entre -32° e -14°, usando os procedimentos descritos abaixo. Este material foi produzido por Rundsthen Vasques de Nader (rvnader@ov.ufrj.br), astrônomo do Observatório do Valongo/ UFRJ, para cursos ministrados pelo OV.

Materiais necessários: tesoura, cola, folha de cartolina ou papelão.

Procedimentos:

1. Faça uma cópia xerox desta página. Corte o Gnomon nas linhas pontilhadas externas. Dobre o Gnomon na metade e então dobre de novo na linha tracejada. Corte a linha pontilhada central na parte inferior.

2. Corte ao longo das linhas pontilhadas do relógio. Pare nas marcas.

3. Dobre as linhas tracejadas restantes.

4. Cole o Gnomon nas marcas assinaladas com G.

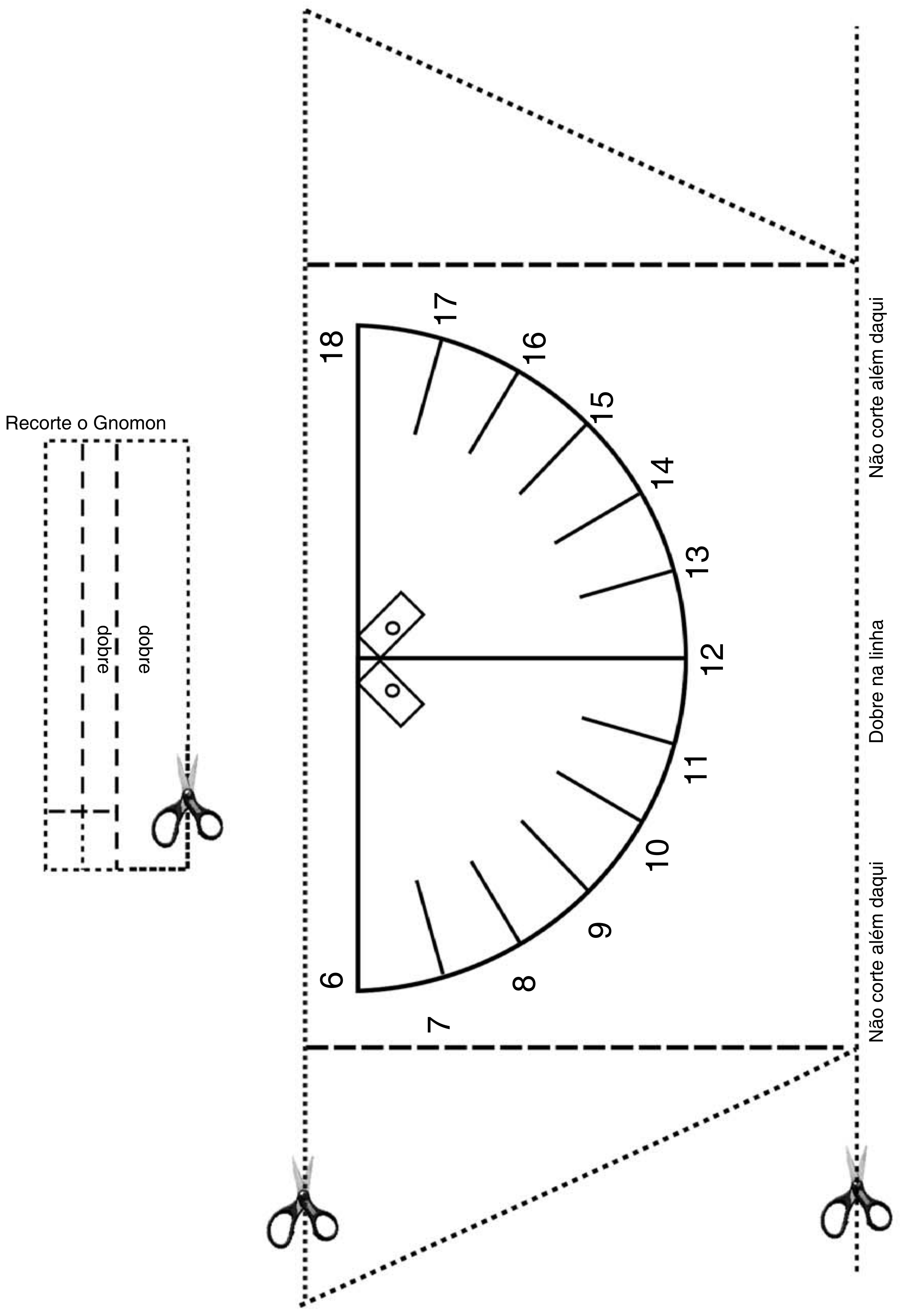
5. Caso queira uma estrutura mais forte, cole o molde sobre cartolina ou papelão.

Como usar:

1. Aponte o Gnomon na direção Sul, e o seu relógio lhe dirá as horas aproximadamente. A determinação da Linha Sul-Norte já foi explicada no texto sobre a determinação dos pontos cardeais.

2. Caso se esteja no horário de verão, devemos somar uma hora ao valor indicado para o tempo.

Se você achou tudo muito interessante e gostaria de se aprofundar um pouco mais sobre o assunto e tem acesso à internet, então pode consultar o *site* http://web.fc-net.fr/frb/sundials/shadows.html. Nele você vai encontrar um programa *completo e grátis* sobre como construir um relógio de sol de todas as formas imagináveis e para qualquer local na Terra. Apenas um pequeno detalhe: a *homepage* (e o programa) está em inglês ou francês.


Recorte o Gnomon
dobre
dobre
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
Não corte além daqui
Dobre na linha
Não corte além daqui

Atividade 2: Construção de um relógio baseado nas estrelas

Vamos aproveitar o movimento aparente de rotação das estrelas em torno dos pólos celestes para construir um relógio que forneça as horas noturnas baseado na orientação das estrelas da Constelação do Cruzeiro do Sul.

Materiais necessários: xerox do círculo graduado (**Figura 12**); xerox do ponteiro das horas (**Figura 13**); xerox do indicador de data (**Figura 14**); botão de pressão ou percevejo; papelão ou cartolina ou papel-cartão; tesoura; cola; pedaço de linha com uns 10 cm de comprimento.

Procedimentos:

1. Faça uma cópia xerox das **Figuras 12, 13** e **14**. Corte os três componentes da folha e cole cada componente sobre uma cartolina (ou papelão) para que fique mais resistente.

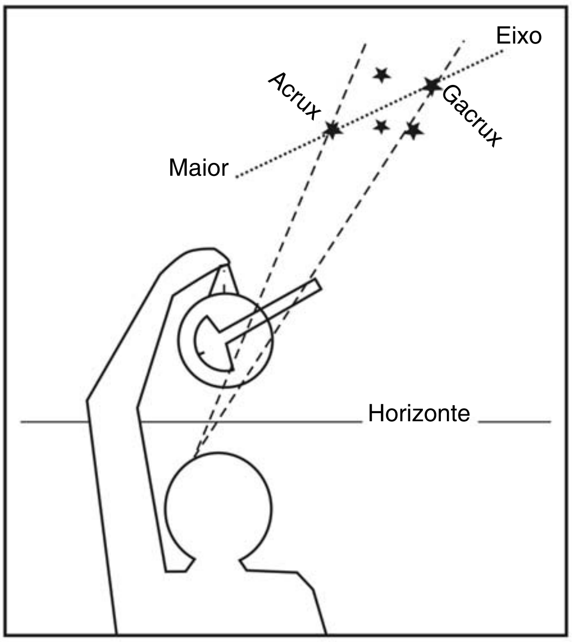


Figura 11: Orientação do ponteiro das horas.

2. Faça um furo nos três componentes nos pontos indicados com o sinal (+).

3. Alinhe os três furos seguindo a ordem de baixo para cima: indicador de data, círculo graduado e ponteiro das horas. Coloque o botão de pressão ou o percevejo.

4. Amarre uma extremidade da linha no ponto indicado na figura do indicador de data.

Como usar:

1. Coloque a data do ano girando o círculo graduado.

2. Mantenha o relógio suspenso pela linha na direção da constelação do Cruzeiro do Sul e gire o ponteiro das horas de modo que ele esteja paralelo ao braço maior da cruz. A estrela Gacrux deve ser a mais externa (**Figura 11**).

3. Leia a hora aproximada no círculo graduado apontada pela seta que se encontra no ponteiro das horas.

4. Caso se esteja no horário de verão, devemos somar uma hora ao valor indicado para o tempo.

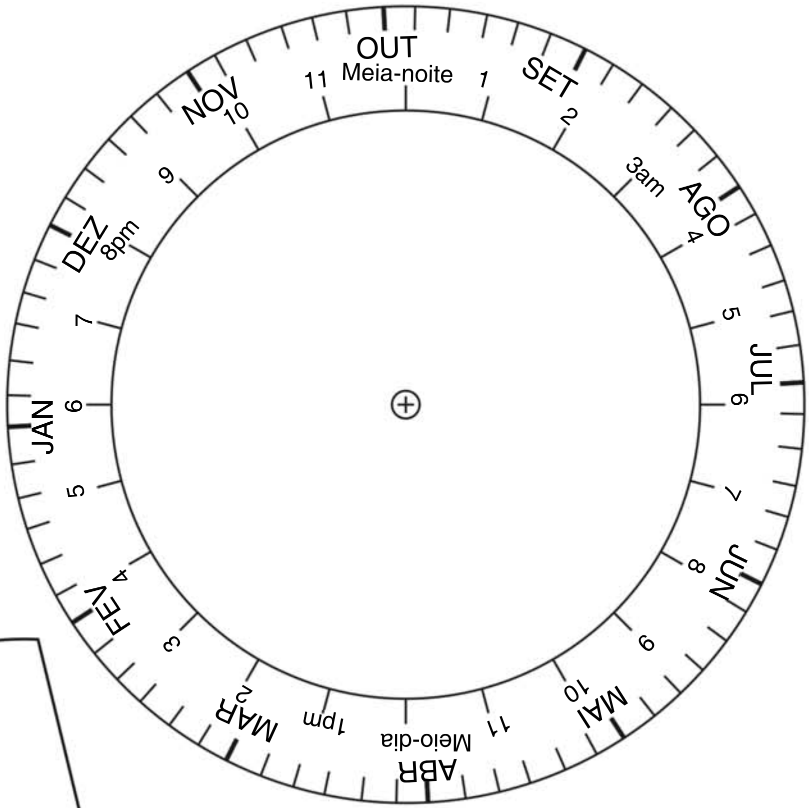


Figura 12: Círculo graduado.

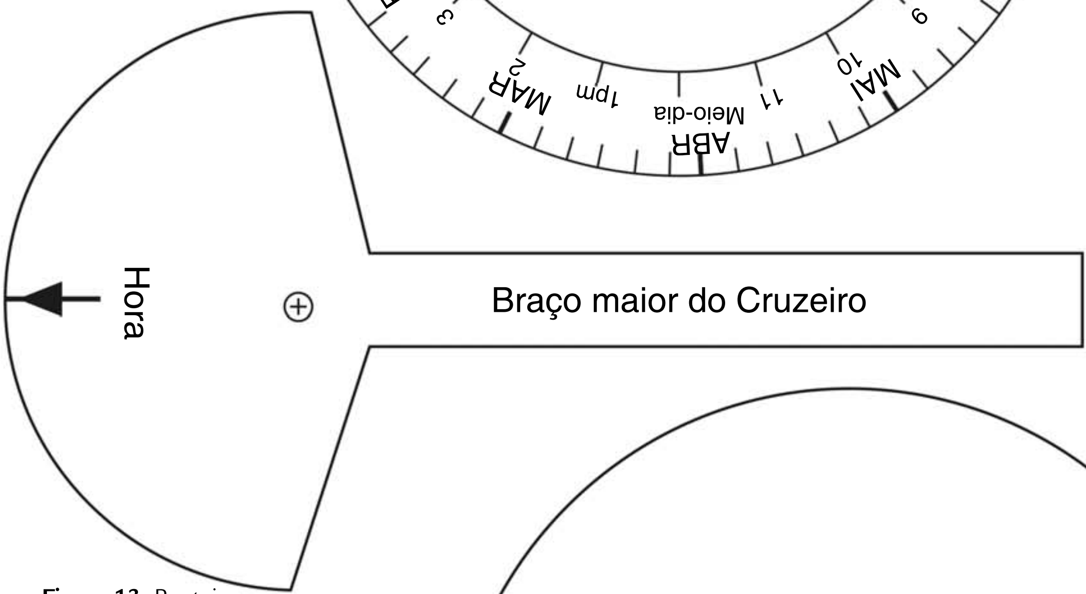


Figura 13: Ponteiros das horas.

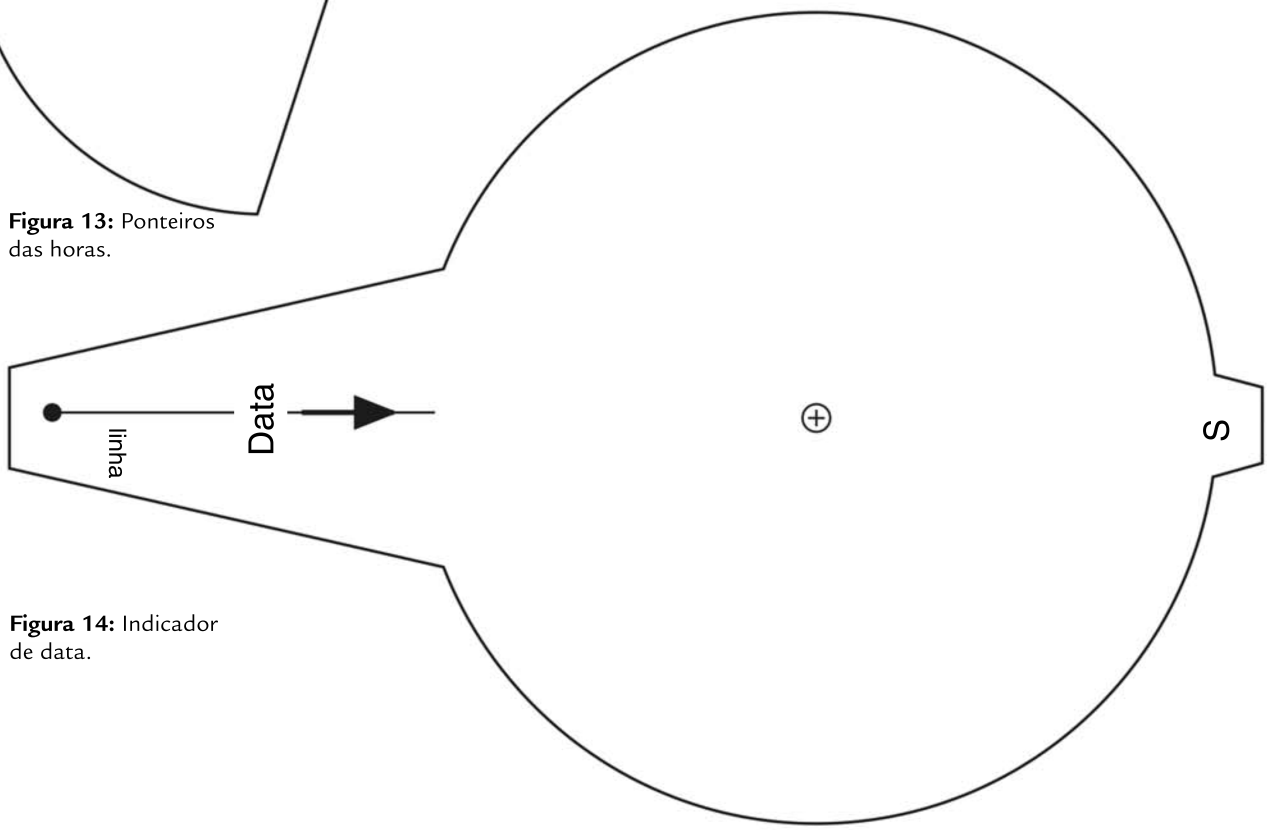


Figura 14: Indicador de data.

O espaço que nos cerca

Meta

Mostrar que a descoberta do espaço que nos cerca é uma construção que envolve observações de fenômenos e sua interpretação baseada em modelos cada vez mais complexos.

Objetivos

Identificar as visões primitivas sobre o Universo; interpretar fenômenos heliocêntricos a partir das observações realizadas na superfície da Terra; reconhecer os verdadeiros movimentos geocêntricos e os fenômenos associados.

Introdução

Nesta aula, você verá que os gregos foram os primeiros a pensar a estrutura do mundo usando a geometria para explicar os fenômenos observados. Os primeiros modelos do Cosmos procuravam explicar os aspectos qualitativos dos fenômenos. A sua opção pela visão geocêntrica em detrimento da heliocêntrica era uma escolha natural porque eles privilegiavam a observação. Com o crescente aumento da qualidade das medidas, os aspectos quantitativos passaram a ter importância, o que mostrou a inadequação do primitivo modelo geocêntrico, que foi substituído pelo modelo heliocêntrico. Também serão apresentados os fenômenos observados a partir da nossa visão geocêntrica e explicados segundo a correta visão heliocêntrica. Restringiremo-nos ao Cosmos dos gregos, que hoje sabemos compreender apenas o Sistema Solar, uma ínfima parte do nosso Universo.

Desde a Antigüidade, os homens se preocupam com o futuro. No começo, começaram a olhar para o céu em busca de sinais que pudessem auxiliar na compreensão do desejo dos deuses e também antecipar o que iria acontecer.

Movimentos do Sol, da Lua e dos planetas, além de fenômenos incomuns, tais como eclipses, fases da Lua e cometas, seriam mensagens dos deuses que precisariam ser interpretadas. Nesta aula, você vai verificar que os movimentos dos astros e a descrição dos fenômenos dependem do referencial do observador. Para entender e descrever os movimentos, os gregos construíram modelos geométricos para a estrutura do Cosmos – sistemas geocêntrico e heliocêntrico.

A busca por entender o mundo que cercava os homens primitivos provavelmente ocorreu a partir do desenvolvimento da linguagem. Coisas como tempestades, raios, trovões e terremotos pareciam sobrenaturais. Os povos acreditavam que tudo (objetos inanimados e fenômenos naturais) tinha vida e que através de orações, sacrifícios e oferendas aos espíritos os homens controlariam os fenômenos do seu mundo. Nesse contexto, aparece a figura dos feiticeiros como intermediários no processo.

No período neolítico, com o surgimento de vilas e pequenas cidades, aparece a religião organizada, representada por templos onde sacerdotes faziam oferendas aos deuses. Os sacerdotes eram as pessoas capazes de compreender os sinais vindos dos céus, onde os deuses moravam, e transmiti-los aos governantes. Todos os fenômenos extraordinários que ocorriam nos céus (eclipses, aparecimento de cometas, meteoros, pontos que se moviam, fenômenos meteorológicos) eram interpretados como mensagens dos deuses aos governantes.

Planeta vem da palavra grega *planetes*, que significa errante, que vagueia.

Os povos da Mesopotâmia, por volta de 800 a.C., começaram a registrar os movimentos dos pontos chamados de **PLANETAS** (para os antigos, também incluía o Sol e a Lua, além de Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) em relação às estrelas fixas, eclipses e instantes do nascer e do ocaso da Lua, com o objetivo de entender a vontade dos deuses e prever o destino do Estado e também do rei. Os planetas eram vistos como divindades, e sua posição em relação a grupos de estrelas, chamados de *constelações*, tinha significado premonitório.

A ciência dos gregos tinha como objetivo usar a observação e a experimentação para buscar leis universais. Na Cosmologia (do grego *kosmos* = Universo + *logos* = estudo) grega, acreditava-se que a ordem do Universo podia ser expressa sob forma matemática. Dos filósofos gregos, surgiram duas propostas de estruturas para o Cosmos, simbolizadas pelo **Geocentrismo** e pelo **Heliocentrismo**.

Geocentrismo – A Terra é o centro do Cosmos

Os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas estimularam os filósofos gregos a propor modelos para a estrutura do Cosmos. O filósofo **Platão de Atenas** (428-348 a.C.) foi o iniciador da idéia dos movimentos circulares uniformes para os planetas com a Terra ao centro, cujo resultado final foi o *sistema geocêntrico* de Ptolomeu. Os primeiros modelos incorporavam aspectos geométricos e de estética: a Terra era esférica por razões de simetria e perfeição, e o Cosmos está ordenado segundo uma perfeita figura geométrica, a *esfera*, com os planetas se movendo numa perfeita figura plana – o *círculo*.

SISTEMA GEOCÊNTRICO

Aristóteles (384-322 a.C.) introduziu a física nos modelos ao argumentar que o Sol não poderia ser o centro do Cosmos porque: todos os objetos caíam em direção ao centro da Terra; a Terra não produzia som no seu deslocamento pelo espaço; não se conseguia ver a *paralaxe* das estrelas (será explicada mais adiante). No modelo de Aristóteles, a Terra estava fixa no centro do Cosmos, e os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas ocorriam em esferas concêntricas.

Claudius Ptolomeu (85-cerca 165 d.C.) desenvolveu o **sistema geocêntrico,** para explicar e quantificar os movimentos observados baseado na idéia do geocentrismo e em combinações de círculos e movimentos descentrados. O **sistema de Ptolomeu** (Figura 1), que dominou o pensamento filosófico até a Idade Média, era composto por 8 círculos concêntricos, com a Terra ocupando o centro, seguindo-se os círculos da Lua, de Mercúrio, de Vênus, do Sol, de Marte, de Júpiter, de Saturno e esfera das estrelas fixas e procurou explicar os fenômenos observados: variações de velocidade angular e de brilho dos planetas; movimento retrógrado dos planetas durante um certo período.

MOVIMENTO RETRÓGRADO DOS PLANETAS

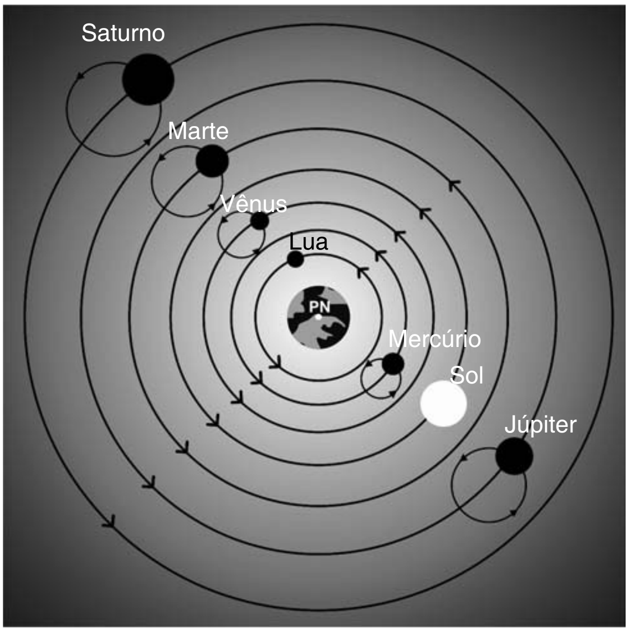


Figura 1

Quando os primitivos observadores começaram a marcar as posições dos planetas no céu, notaram que todos se moviam para Leste, mas que de repente passavam a se mover em sentido contrário – para Oeste – por um período, retornando depois o seu movimento para Leste. Este movimento em sentido contrário é chamado *movimento retrógrado* (entre os pontos A e B da Figura 2). O Sol e a Lua não apresentam movimento retrógrado. Além disso, notaram que o *brilho* dos planetas e a sua *velocidade de deslocamento* no céu também variavam com o tempo.

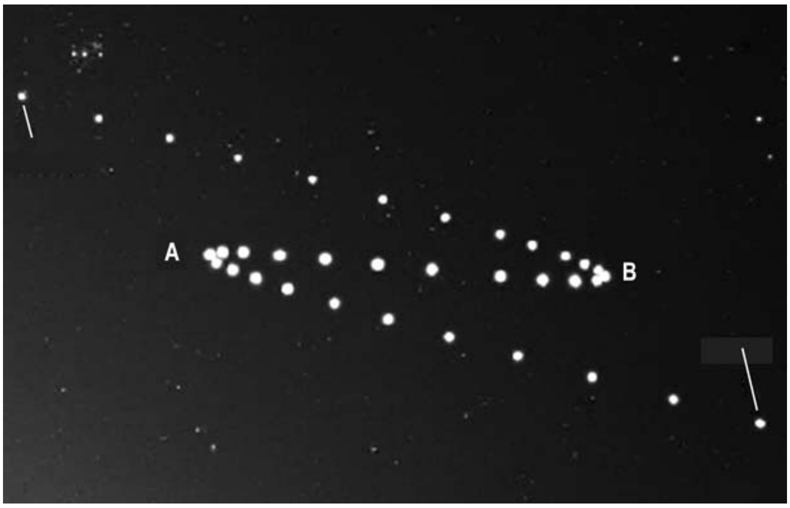


Figura 2

Epiciclos e deferentes

Como no movimento circular uniforme o corpo não altera sua velocidade angular, o sistema de Ptolomeu afirmava que os planetas se moveriam num círculo – chamado epiciclo, cujo centro se moveria em torno da Terra também num círculo, chamado deferente (Figura 3). A conjugação dos dois movimentos resultaria na variação da velocidade angular e no movimento retrógrado dos planetas, porque as velocidades do planeta no epiciclo e do centro do epiciclo no deferente se somam algebricamente. Essa estrutura também explicaria a variação de brilho, uma vez que o planeta durante o seu movimento no epiciclo se aproximaria e se afastaria da Terra. Embora o sistema geocêntrico de Ptolomeu tenha perdurado até o século XVI, sua complexidade aumentou crescentemente (chegou a ter 16 níveis de epiciclos) para explicar com precisão o movimento observado dos planetas (veja a animação em Flash do movimento dos planetas no sistema geocêntrico em http://astro.unl.edu/naap/ssm/animations/ptolemaic.swf).

Na realidade, o movimento retrógrado em relação às estrelas do fundo do céu é causado pelo efeito combinado dos movimentos da Terra e do planeta, quando observado a partir do referencial situado na Terra.

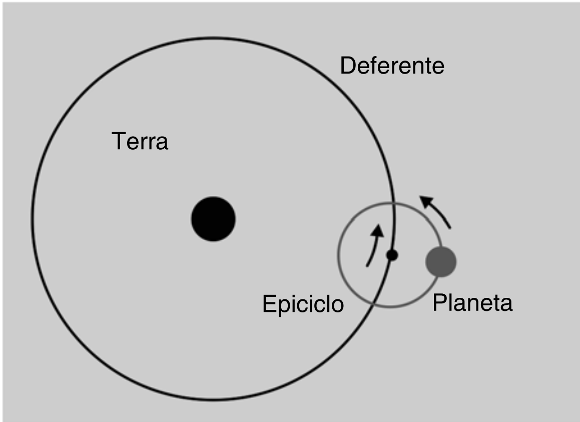


Figura 3

Vamos explicar o movimento retrógrado tomando como exemplo o movimento do planeta Marte, admitindo simplificações que não alteram o resultado: as duas órbitas são circulares e co-planares (estão no mesmo plano). Também vamos considerar somente a componente da velocidade orbital ao longo do eixo x da Figura 4, que chamaremos de componente transversal.

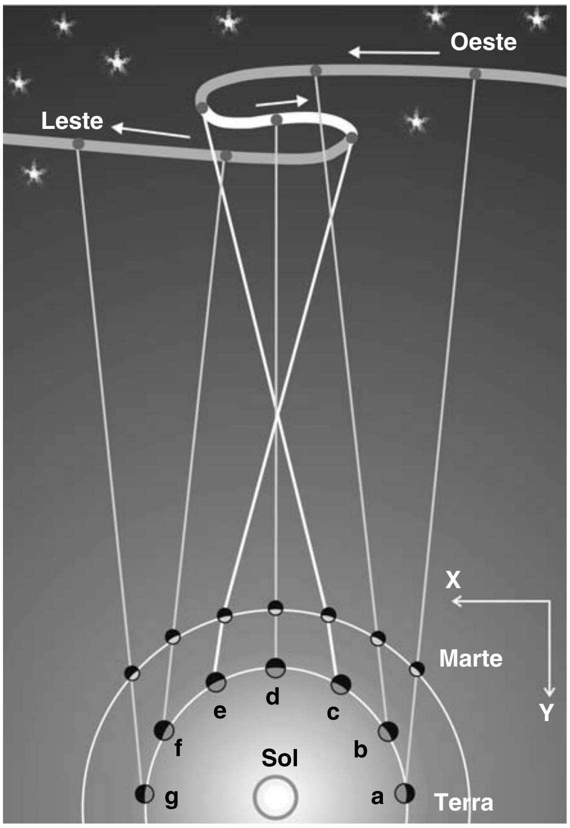


Figura 4

A Terra anda mais rápido em sua órbita do que o planeta Marte (todos os planetas apresentam velocidades orbitais decrescentes à proporção que se afastam do Sol – veja animação em http://astro.unl.edu/naap/pos/animations/kepler.swf).

A Figura 5 mostra que nas posições (a) e (b) a componente transversal de Marte é maior do que a da Terra (mas a diferença entre as componentes vai diminuindo), e o deslocamento se dá de Oeste para Leste; na posição (c), esta diferença se anula, e Marte parece estar parado no espaço em relação às estrelas do fundo do céu – instante denominado *ponto estacionário*; a partir deste ponto, a componente transversal da Terra é maior do que a de Marte, e este parece se mover de Leste para Oeste, iniciando o *movimento retrógrado;* entre as posições (c) e (e), a diferença entre as componentes passa por um máximo (posição (d) – ponto chamado de **oposição**) e volta a se anular na posição (e), onde ocorre um novo *ponto estacionário*; a partir da posição (e), a diferença entre as componentes vai aumentando, e Marte se move cada vez mais rápido no céu de Oeste para Leste. Na Figura 5, os vetores de velocidades da Terra e de Marte nas órbitas são denotados por v_T e v_M, respectivamente.

OPOSIÇÃO é o ponto em que um corpo celeste está no lado oposto do céu em relação ao Sol, quando visto de um lugar particular (usualmente, a Terra). Nesse instante, a diferença entre as posições do Sol e do corpo é de 180° (12 horas em tempo).

O movimento retrógrado é observado tanto para os planetas com órbitas entre o Sol e a Terra – chamados de *planetas interiores* – quanto para os planetas com órbitas externas à da Terra – chamados de *planetas exteriores*.

PLANETAS INTERIORES E EXTERIORES

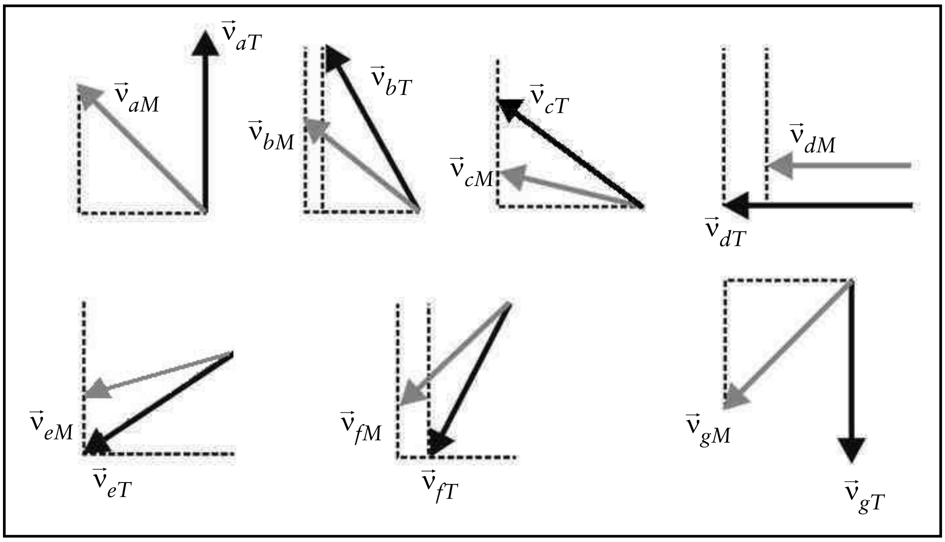


Figura 5

Quanto mais longe do Sol, mais lento viaja o Planeta

A **velocidade** (v) de um corpo em uma órbita circular é igual ao comprimento da órbita (perímetro) dividido pelo **tempo** (T) necessário para percorrê-la. O perímetro é dado por $2\pi r$, onde r é a distância do corpo ao centro do círculo. Logo, a velocidade do corpo em uma órbita circular será constante e fornecida por:

$v = 2\pi r/T$

Então, a velocidade de um planeta na sua órbita depende da sua *distância ao Sol* (r) e do intervalo de *tempo* (T) necessário para que ele complete uma volta completa ao redor do Sol (chamado *período sideral*). Pela segunda lei de Newton, o período sideral (T) depende da *massa* do planeta. Na prática, medimos a distância Terra-Sol e o período sideral, obtendo assim sua velocidade orbital.

As distâncias dos planetas ao Sol só foram conhecidas em função da distância Terra-Sol, quando do aparecimento da 3ª Lei de Kepler, em 1619 (vide texto adiante sobre as Leis de Kepler), e em valores absolutos (quilômetros), quando da determinação da distância Terra-Sol pelos astrônomos G. D. Cassini (1625-1712) e J. Richer (1630-1696) em 1672.

O *período sideral*, que é o intervalo de tempo necessário para que um corpo celeste dê uma volta de 360° em torno do Sol, não é obtido diretamente, mas sim através da determinação do *período sinódico* (*vide* quadro mais à frente).

Na realidade, os planetas descrevem órbitas elípticas nas quais as velocidades variarão ligeiramente em torno da velocidade média (fornecida pela hipótese de a órbita ser circular), mas a explicação do movimento retrógrado continua válida.

Exemplo 1

Calcule a velocidade média de revolução da Terra e de Marte em torno do Sol supondo que ambos percorrem uma órbita circular. Sabe-se que a distância média Terra-Sol é de 150.000.000 km; que a distância Marte-Sol é de 228.000.000 km; que o período sideral da Terra é de 365,25 dias e que o de Marte é de 686,98 dias.

Solução

A velocidade média orbital da Terra será v_T = (2π x 150.000.000 km)/(365,25 x 86.400 s) = 29,9 km/s.

A velocidade média orbital de Marte será v_M = (2π x 228.000.000 km)/(686,98 x 86.400 s) = 24,1 km/s.

Exemplo 2

Calcule a velocidade transversal de Marte, admitindo uma órbita circular, no instante em que o vetor velocidade faz um ângulo de 30° com o eixo X representado na Figura 4.

Solução

A velocidade transversal de Marte ao longo do eixo X neste instante será dada por:

$v_{tr} = v_M \cdot \cos 30° = 24{,}1 \times \cos 30° = 20{,}87$ km/s

Exercício 1

A velocidade transversal de Marte, admitindo uma órbita circular, irá variar entre que valores extremos?

Movimentos geocêntricos

A LUA é o único astro natural que possui movimento em torno da Terra.

Realmente, o único astro que possui um verdadeiro movimento geocêntrico é o satélite natural da Terra, a Lua. Provavelmente, ela foi o primeiro astro a ser notado pelos primitivos observadores, servindo como o primeiro calendário para os povos, que usavam a variação das fases para definir um período de tempo hoje associado à noção de mês. Desde a Antigüidade, a Lua é objeto de culto, amor e desejo. Foi objeto de culto quando o homem deificava os astros por temer o desconhecido; foi objeto de amor quando encarnou a deusa da fertilidade pela equivalência aproximada entre o ciclo menstrual e o período orbital de 30 dias responsável pelas fases lunares; e é objeto de desejo dos namorados e dos astrônomos e cientistas, que vêem nela o primeiro astro da jornada da Humanidade rumo ao espaço sideral. A Lua é o único astro que gira em torno da Terra e também o mais próximo. Sua proximidade da Terra – cerca de 384.400 km em média, equivalente a 30 Terras enfileiradas uma ao lado da outra – dá a idéia de que quase podemos tocá-la. Foi o primeiro e único astro, até o momento, visitado pelo homem. O primeiro a pisar o solo lunar, no Mare Tranquilitatis, em 21 de julho de 1969, foi o astronauta americano Neil Armstrong, tripulante da nave *Apolo 11*, que tinha como companheiros os astronautas Edwin Aldrin e Michael Collins.

Principais características da Lua

Menor distância da Terra = 356.410 km	Período de revolução em torno da Terra = 27,322 dias
Maior distância da Terra = 406.697 km	Período de rotação em torno do próprio eixo = 27,322 dias
Distância média = 384.400 km	Período sinódico = 29,531d = 29d 12h 44m 2,9s
Diâmetro = 3.475,6 km	Diâmetro angular aparente médio = 31' 5"

Fases da Lua

O clarão da Lua forneceu a primeira iluminação "pública" aos habitantes das vilas e cidades. A Lua *não tem luz própria*; ela só reflete 7% da luz solar incidente. A sucessão de fases da Lua definiu um calendário natural, criando a noção de mês. O movimento da Lua no céu em relação às estrelas de fundo (Figura 6) apresenta um deslocamento contrário ao MOVIMENTO DIURNO, de cerca de 13,2° por dia (~ 0,5° por hora) do Oeste para o Leste; isto é, após aproximadamente 27,3 dias (*período sideral*) ela retorna ao mesmo lugar em relação às estrelas de fundo.

MOVIMENTO DIURNO é o movimento aparente diário das estrelas em torno da Terra, que ocorre do lado Leste para o lado Oeste. Na verdade, este é o movimento relativo visto por um observador na superfície da Terra, que está girando em torno do seu eixo de Oeste para Leste.

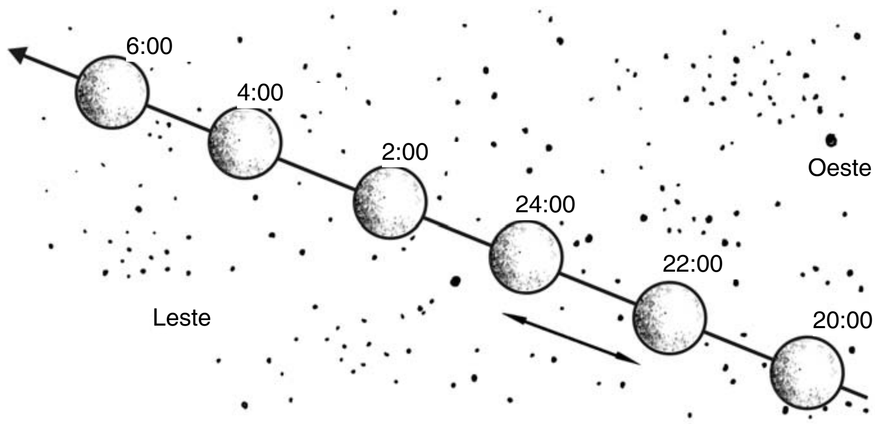


Figura 6

Atividade 1

Observe o deslocamento da Lua em relação às estrelas de fundo e faça uma estimativa do seu deslocamento angular.

A observação das *fases da Lua* revela que, após um pequeno período em que não se observa a Lua no céu (lua nova), ela apresenta uma pequena região iluminada do lado onde o Sol se põe, que vai crescendo, dia após dia, até atingir a metade da sua superfície total (lua cheia). Após a lua cheia, esta região iluminada vai diminuindo progressivamente, até desaparecer de novo. Na fase minguante, a Lua apresenta a forma côncava na direção onde o Sol se põe. Esta variação da superfície iluminada se repete a cada 29,5 dias aproximadamente, intervalo chamado de *período sinódico* (veja explicação mais à frente), ou *lunação*.

LUNAÇÃO é o período entre duas luas novas consecutivas.

As fases nada mais são do que a variação da porção iluminada da Lua vista por um observador na superfície da Terra. Você sabe que o Sol está sempre iluminando metade da superfície da Lua (posições L1 a L8 da Figura 7). A percentagem iluminada da superfície que você vê depende do ângulo entre a direção do Sol e a direção da Lua, visto por um observador na Terra. Esse ângulo, chamado de **ELONGAÇÃO** (Figura 8), vai variar entre 0° e 180° durante o período de revolução da Lua em torno da Terra.

ELONGAÇÃO é a distância angular entre as direções do Sol e de qualquer outro astro do sistema solar, para um observador situado na Terra.

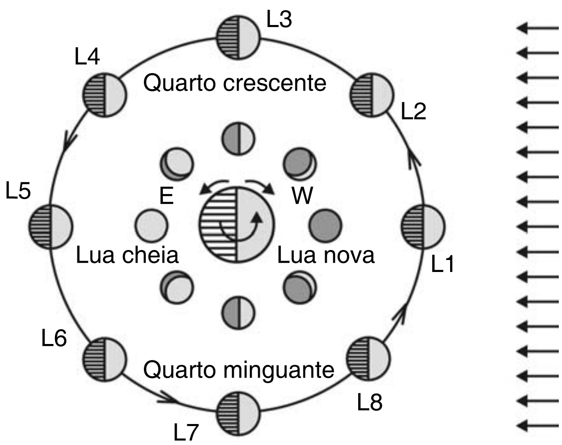


Figura 7

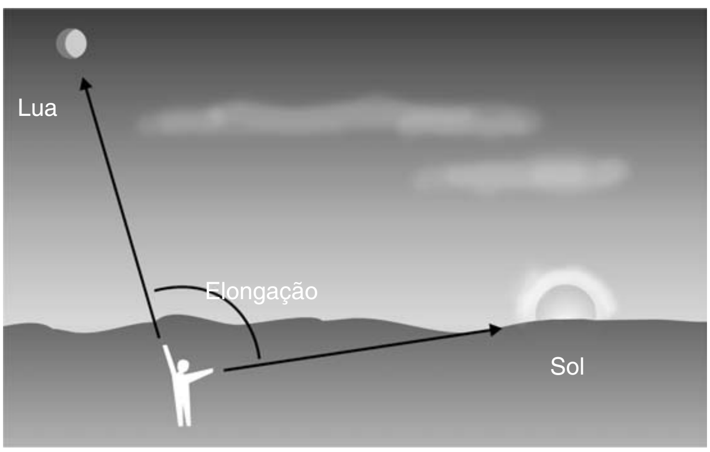


Figura 8

Quando a Lua e o Sol estiverem na mesma direção (posição L1), este ângulo será igual a 0°, e a fase é conhecida como **lua nova**, porque não se vê nenhuma parte da porção iluminada da Lua, que está voltada para o Sol. À proporção que a Lua revoluciona em torno da Terra, a elongação vai crescendo e vai-se vendo progressivamente maior fração da superfície iluminada. Na posição L3, a elongação será igual a 90°, e vê-se a metade da metade iluminada da superfície lunar, sendo por isto chamada de **quarto crescente**. A fração iluminada vai crescendo até que, na posição L5, quando a elongação atinge 180°, vê-se a totalidade da metade iluminada, fase conhecida como **lua cheia**. É possível ver a lua cheia porque a órbita da Lua é inclinada em relação à órbita do Sol. A partir deste instante, a elongação volta a decrescer, passando de novo por 90°, fase conhecida como **quarto minguante**, até chegar a 0° (lua nova). Excelentes animações sobre as fases da Lua podem ser encontradas no *site* http://astro.unl.edu/classaction/, clicando em "Lunar Cycles", depois em "Launch Lunar Cycles module" e na aba "Animations" (é preciso instalar o Plugin Flash no seu computador para ver as animações). Um observador situado na face da Lua voltada para a Terra também veria as fases do nosso planeta (Figura 9), apenas em condições opostas: quando fosse lua nova para um observador na Terra, seria Terra cheia para um observador na Lua; quando fosse Lua cheia, seria Terra nova, e assim por diante.

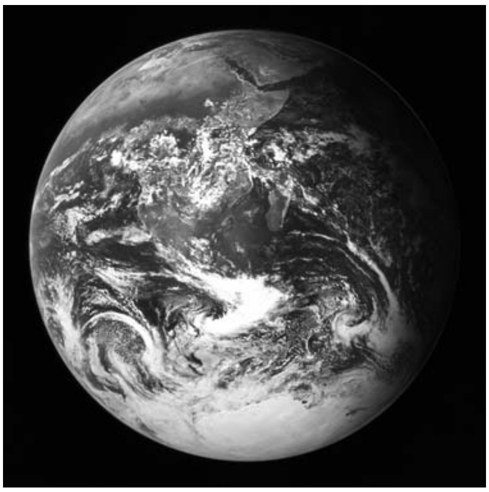


Figura 9

A forma da porção iluminada da Lua vista pelo observador depende da sua localização na superfície da Terra. Para identificar a fase da Lua (se crescente ou minguante), existe uma norma prática, muito difundida popularmente, que afirma que "se a imagem da Lua se parece com um C, ela está na fase crescente; se se parece com um D, está na fase decrescente". Essa norma é *falha,* porque depende da posição do observador e da posição da Lua no céu, se mais para o lado norte do observador ou mais para o lado sul.

Observe o seguinte experimento: oriente uma mesa na direção Leste (L)-Oeste (O) e coloque um objeto com o formato de um C no centro da mesa, orientado também na direção L-O, conforme mostrado na Figura 10. Agora vá para o lado sul e observe que ele parece um ☾. Dê a volta à mesa e observe agora pelo lado oposto, isto é, do lado norte. Você verá que o objeto parecerá um ☽. Portanto, a forma aparente depende da direção em que o observador olha para a Lua. Observadores em hemisférios opostos observam a Lua como se estivessem em lados opostos no experimento.

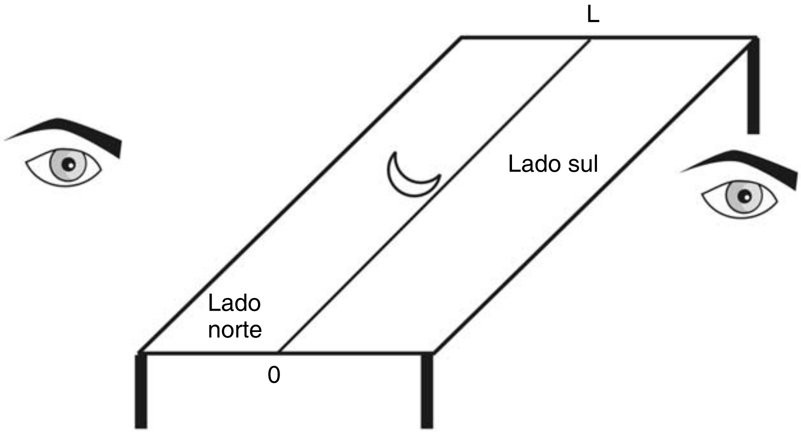


Figura 10

As fases não são um fenômeno exclusivo da Lua; os planetas também apresentam fases quando observados da Terra. As fases observadas dependem dos valores da elongação e de as órbitas dos corpos serem interiores ou exteriores à órbita da Terra. As fases de Vênus (planeta interior), descobertas por Galileu em 1610, ajudaram a derrubar a teoria geocêntrica. No sistema geocêntrico de Ptolomeu, seria impossível observar as fases entre os quartos crescente e minguante, passando pela fase cheia (Figura 11.a), porque Vênus sempre estaria entre a Terra e o Sol. As observações de Galileu mostraram que Vênus apresentava todo o ciclo das fases entre Vênus novo e Vênus cheio (Figura 11.b), o que só poderia ser explicado usando-se o sistema heliocêntrico. É possível ver Vênus cheio porque a órbita da Vênus é inclinada de 3,4° em relação ao plano da órbita aparente do Sol. Para planetas com órbitas exteriores à da Terra, não é possível observar fases próximas da nova, porque eles nunca se interporão entre a Terra e o Sol.

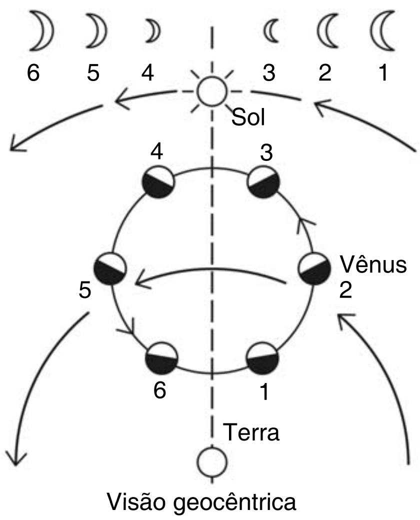


Figura 11.a

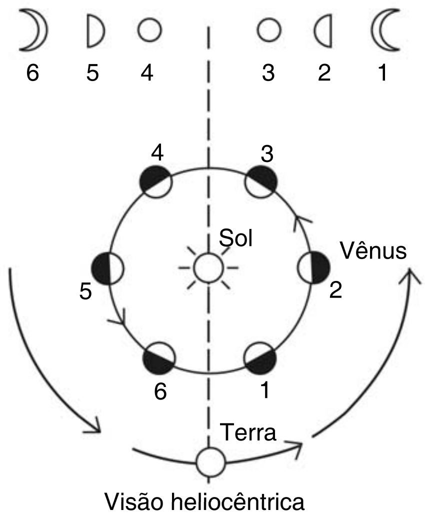


Figura 11.b

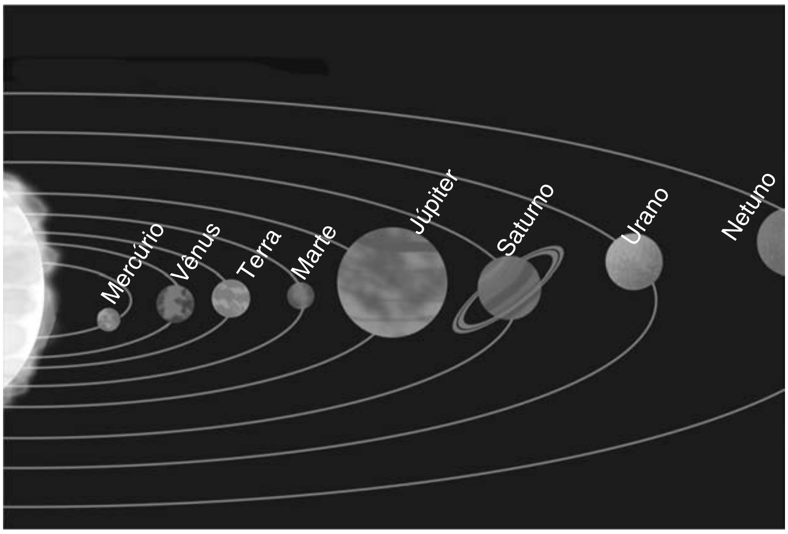


Figura 12

Exercício 2

É possível que a elongação de um planeta interior alcance o valor de 90°?

Exercício 3

Um observador situado em Júpiter (inclinação da órbita em relação à eclíptica de 1,3°) poderia ver todas as fases da Terra?

Revolução da Lua em torno da Terra

Na revolução da Lua em torno da Terra, dois instantes são de importância astronômica: os instantes em que a elongação é igual a 0° (chamado de *conjunção*) e 180° (chamado de *oposição*). Na *conjunção*, a Lua e o Sol estão na mesma direção, mas isso não resulta necessariamente na Lua ocultando o Sol (situação em que teríamos um eclipse solar), porque as órbitas do Sol e da Lua, assim como as órbitas de todos os planetas, não são co-planares, só se cruzando em dois pontos (chamados de **NODOS** da órbita – Figura 13). A órbita da Lua está inclinada cerca de 5° em relação ao plano da órbita da Terra.

Um **NODO ORBITAL** é um dos dois pontos onde uma órbita cruza um plano de referência, que está inclinado em relação a ela. Uma órbita que está contida no plano de referência não tem nodos.

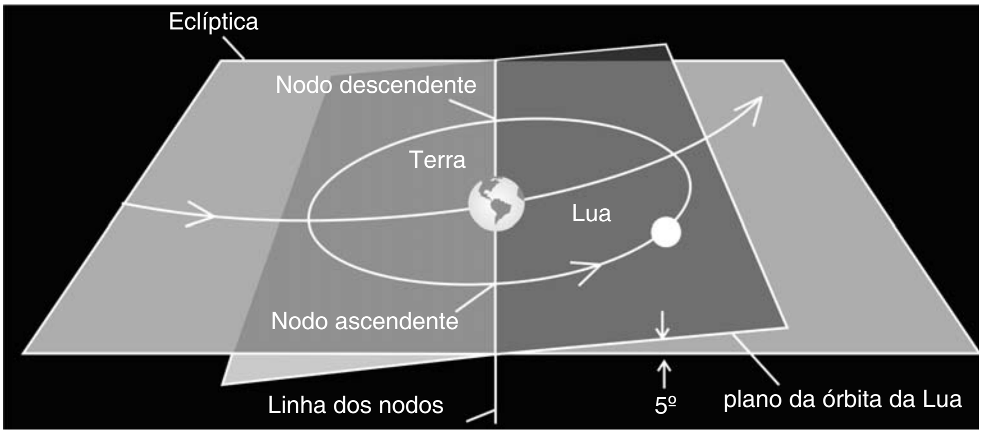


Figura 13

Você deve achar que houve um erro ao se chamar o intervalo da revolução da Lua em torno da Terra de *período sideral* com duração de 27,3 dias e também de *período sinódico* com duração de 29,5 dias. Esse erro é apenas aparente, porque a definição da revolução de um corpo em torno de outro depende da direção da origem da contagem da revolução. No período sideral, a direção da origem é definida por estrelas muito distantes, cujo movimento espacial pode ser considerado como desprezível para o intervalo de tempo considerado. Assim, o *período sideral* é o intervalo necessário para a Lua completar uma revolução de 360° em torno da Terra (isto é, duas passagens consecutivas da Lua pela mesma direção indicada pela estrela – Figura 14). Se usarmos como referência a direção do Sol, como no caso das fases da Lua, uma revolução será considerada completa quando de duas passagens consecutivas da Lua pela mesma direção indicada pela posição do Sol. Ao contrário da estrela distante, o movimento espacial do Sol não é desprezível, porque a Terra está se movendo em torno do Sol durante o intervalo que a Lua revoluciona em torno da Terra. Devido a isso, a Lua movimenta-se de um ângulo de cerca de 27° em 2,2 dias para que ela e o Sol fiquem alinhados de novo na mesma direção (fiquem em conjunção). O intervalo de tempo entre duas conjunções sucessivas é chamado de *período sinódico*.

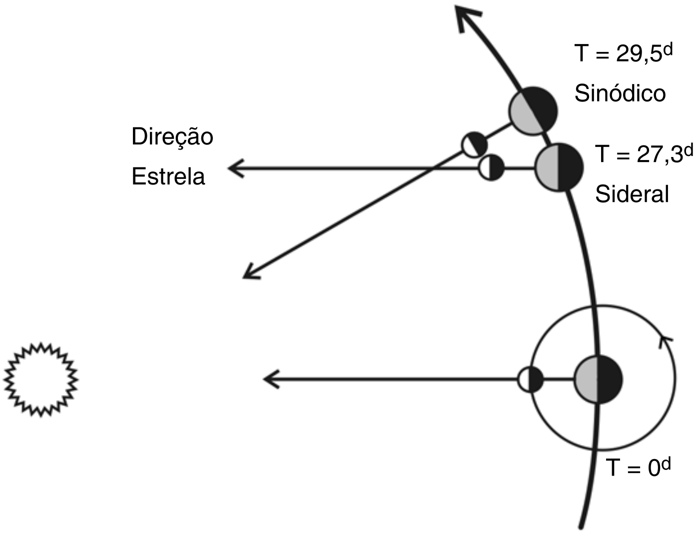


Figura 14

Os períodos Sideral e Sinódico da Lua podem ser obtidos por observação.

Exemplo 3

Estime o período sideral da Lua a partir do seu período sinódico. O período sinódico da Lua é de 29,5 d. O período sideral do Sol em torno da Terra é de 365,25 d.

Solução

Sejam T_L e T_S os períodos siderais da Lua e do Sol, respectivamente; S o período sinódico da Lua e θ_L e θ_S os ângulos percorridos durante o período sinódico pela Lua e pelo Sol, respectivamente.

$\theta_L = (2\pi/T_L).S;$ $\qquad\qquad$ $\theta_S = (2\pi/T_S).S$

Começa-se a contar a revolução quando o Sol e a Lua estão alinhados em conjunção (Figura 15.a). Após um período sinódico da Lua, o Sol e ela voltam a ficar alinhados (Figura 15.b). Nesse instante, a Lua percorreu um ângulo em volta da Terra de 360° (2π) mais um ângulo devido à rotação aparente do Sol em torno da Terra (θ_S). Então:

$\theta_L = 2\pi + \theta_S$

Substituindo os valores angulares pelas expressões anteriores, temos que:

$(2\pi/T_L).S = 2\pi + (2\pi/T_S).S \qquad => \quad S = T_L + (T_L/T_S).S$

Explicitando T_L na expressão, temos:

$T_L = S/(1 + S/T_S) = 27,3$ dias

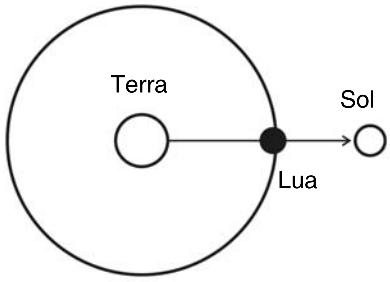


Figura 15.a

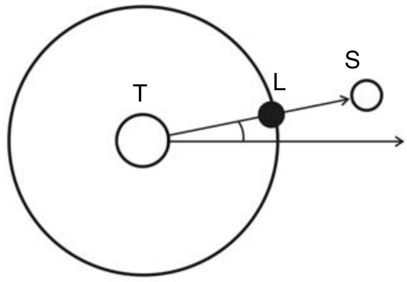


Figura 15.b

Como determinamos o período sideral dos planetas

A determinação do período sideral da Terra é somente uma questão de observação; basta que se acompanhe a variação da elongação do Sol em relação a uma estrela distante, à semelhança do que foi feito com a Lua. Já para a determinação do período sideral dos planetas não podemos usar o mesmo método porque não estamos neles (o período sideral é uma quantidade relativa ao movimento heliocêntrico). Então, como podemos determinar o seu período sideral? A resposta está na determinação do período sinódico do planeta, que é uma quantidade relativa ao movimento geocêntrico.

Recordando, o *período sinódico* é o intervalo de tempo decorrido entre duas conjunções (ou duas oposições) consecutivas do planeta, enquanto o *período sideral* é o intervalo de tempo necessário para que o planeta dê uma volta completa em torno do Sol.

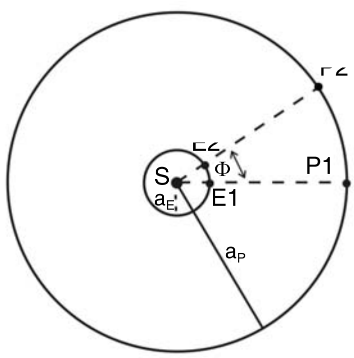


Figura 16

Vamos estabelecer uma relação entre as duas definições de período, usando a Terra e um planeta exterior – por exemplo, Marte. Suponha que os planetas descrevam *órbitas circulares* que estão todas no *mesmo plano da eclíptica*. No instante $\mathbf{t_1}$, a Terra está em $\mathbf{E_1}$, e Marte está em oposição na posição $\mathbf{P_1}$ (Figura 16). Na próxima oposição, que ocorre no instante $\mathbf{t_2}$, a Terra estará em $\mathbf{E_2}$, e o planeta em P_2. Durante o intervalo de tempo $(t_2\text{-}t_1)$, a Terra se moveu de um ângulo $(2\pi + \phi)$, isto é, deu uma volta completa e andou mais um ângulo ϕ, enquanto o planeta exterior se moveu de um ângulo ϕ. Então, durante o intervalo Marte se moveu de um ângulo

$$\phi = (2\pi/T_P)(t_2 - t_1)$$

Durante o mesmo intervalo, a Terra se moveu do ângulo

$2\pi + \phi = (2\pi/T_E)(t_2 - t_1)$

em que T_E e T_P são os **períodos siderais** da Terra e do planeta, respectivamente, e (**2π/T**) é o movimento angular médio.

Sabemos que o intervalo $(t_2\text{-}t_1)$ entre oposições é o **período sinódico** (**S**). Então:

$$\phi = (2\pi/T_P).S \quad (1) \qquad \text{e} \qquad 2\pi + \phi = (2\pi/T_E).S \quad (2)$$

e, substituindo o valor de ϕ dado em (1) na expressão (2) e rearrumando, vem:

$$2\pi + (2\pi/T_P).S = (2\pi/T_E).S$$

$$(2\pi/S) + (2\pi/T_P) = (2\pi/T_E)$$

$$(2\pi/S) = (2\pi/T_E) - (2\pi/T_P)$$

$$\left(\frac{1}{S}\right) = \left(\frac{1}{T_E}\right) - \left(\frac{1}{T_P}\right) \qquad (3)$$

Uma vez que **S** pode ser medido e $\mathbf{T_E}$ é conhecido (período sideral da Terra), o valor de $\mathbf{T_P}$ pode ser determinado a partir da equação (3). Esta expressão vale para os planetas exteriores. Para planetas interiores, a expressão, obtida por raciocínio semelhante, será:

$$\left(\frac{1}{\mathbf{S}}\right) = \left(\frac{1}{\mathbf{T_P}}\right) - \left(\frac{1}{\mathbf{T_E}}\right) \qquad (4)$$

A tabela mostra os valores do período sideral, obtidos a partir de medidas do período sinódico dos planetas (veja um calculador de período sideral em http://astro.unl.edu/naap/ssm/modeling2.html).

Planeta	**Período sideral**	**Período sinódico**	**Planeta**	**Período sideral**	**Período sinódico**
Mercúrio	87,969 dias	115,88 dias	Júpiter	4332,589	398,88
Vênus	224,701	583,92	Saturno	10759,22	378,09
Terra	365,256	-	Urano	30685,4	369,66
Marte	686,980	779,94	Netuno	60189	367,49

Exercício 4

Obtenha a expressão anterior para os planetas interiores. Dica: use os instantes das conjunções em lugar das oposições.

Exercício 5

Por que a Terra não apresenta um valor para o período sinódico na tabela?

ÓRBITA SÍNCRONA

Uma característica interessante dos movimentos feitos pela Lua é a igualdade entre o *período de rotação da Lua em torno do seu eixo e o período da sua revolução em torno da Terra*. Quando a rotação de um astro é precisamente igual à sua revolução em torno de outro, dizemos que o corpo possui uma *órbita síncrona*, que é uma conseqüência inevitável da atração gravitacional entre dois corpos. Devido a isso, a Lua sempre apresenta a mesma face voltada para a Terra. Os satélites de comunicação que estão em órbita da Terra são geoestacionários, isto é, estão sempre na mesma posição em relação à superfície da Terra. Esses satélites estão numa altitude de cerca de 36.000 km e possuem rotação síncrona com a rotação da Terra.

FACE ESCURA E FACE OCULTA

É preciso desfazer uma confusão entre a *face escura* e a *face oculta* da Lua. Quando a Lua está na fase nova, a face voltada para a Terra é exatamente a apresentada quando está na fase cheia, distinguindo-se apenas por não estar diretamente iluminada pelo Sol, por isto sendo chamada de **face escura.** Já a **face oculta** é a face do lado oposto que nunca é vista por um observador na Terra e que foi fotografada pela primeira vez pela nave russa *Luna 3*, em 7 de outubro de 1959.

Eclipses solares e lunares

UMBRA E PENUMBRA

Quando um corpo extenso é iluminado por outro corpo extenso, ocorre a produção de um cone de sombra composto por duas regiões espaciais (Figura 17): **cone de umbra**, que é o espaço que não recebe luz nenhuma; e **cone de penumbra**, que é o espaço que recebe luz de somente alguns pontos da fonte.

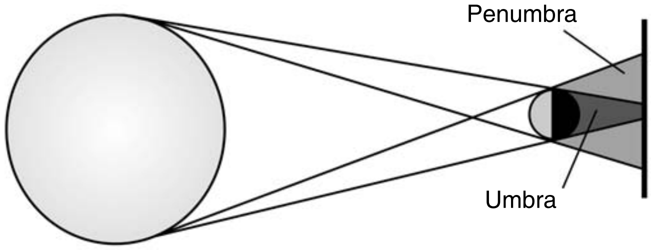


Figura 17

No seu movimento de revolução ao redor da Terra, a Lua passa a cada 29,5 dias entre o Sol e a Terra (Figura 18). Em algumas dessas passagens, a superfície aparente do Sol pode ficar total ou parcialmente obstruída pela Lua. Quando isso ocorre, dizemos que acontece um *eclipse solar*. Esse fenômeno só pode ocorrer quando é Lua nova (LN), isto é, quando a Lua está em *conjunção* com o Sol. Também a cada 29,5 dias a lua está em *oposição*, isto é, a Terra se encontra entre a Lua e o Sol. Nesse caso, quando a lua se move dentro do cone de sombra projetado pela Terra no espaço, ocorre um *eclipse lunar*, que só pode ocorrer quando for lua cheia (LC). Como o plano da órbita da lua está inclinado em relação à eclíptica (de cerca de 5°), os eclipses do Sol e da lua só podem ocorrer quando os instantes da Lua nova ou a Lua cheia ocorrem em pontos próximos dos *nodos* da sua órbita.

No eclipse solar, é a Lua que produz sombra, que somente em condições restritas varre a superfície da Terra; no eclipse lunar, é a Terra que produz a sombra.

ECLIPSE SOLAR

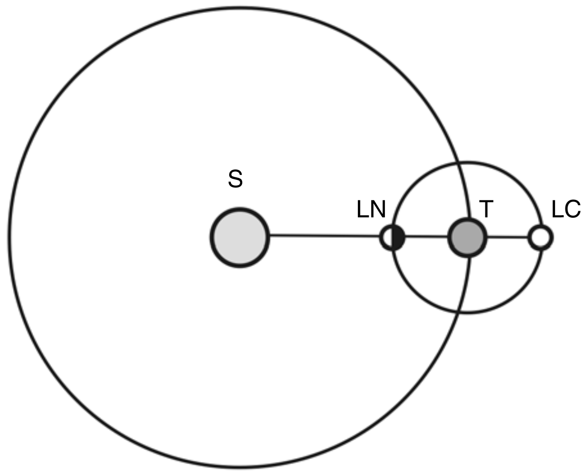


Figura 18

A possibilidade de ocorrência de eclipses depende de duas características importantes: a relação entre os *diâmetros angulares* da Lua e do Sol e a *distância entre a Lua e a Terra* no momento do eclipse. Sabe-se que os diâmetros angulares do Sol e da Lua são muito próximos em valor (≈ 31') e que o cone de sombra umbral é longo apenas o suficiente para atingir a superfície da Terra em algumas ocasiões. A conjugação destas duas condições implica que: a) os eclipses solares são de curta duração (considerando o tempo de ocultação total – **totalidade**); b) eles somente podem ser observados, numa pequena região da superfície da Terra, durante um curto espaço de tempo (geralmente 4 a 5 minutos).

Tipos de eclipses solares

Os eclipses solares podem ser classificados em *parciais*, *totais* e *anulares*. Um eclipse parcial (Figura 19, à direita) ocorre quando a Lua somente bloqueia parcialmente a imagem do Sol; um eclipse total (Figura 19, à esquerda) ocorre quando a Lua bloqueia totalmente, por instantes, a imagem do Sol; um eclipse anular (Figura 19, no centro) ocorre quando, no instante de máxima ocultação, um anel da superfície do Sol em volta da Lua permanece visível.

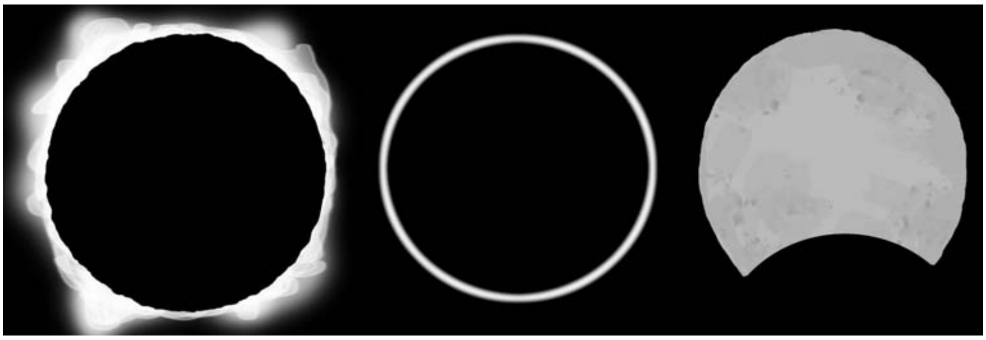


Figura 19

As dimensões aparentes do Sol e da Lua variam bastante, de modo que em alguns casos o vértex do cone de sombra umbral não intercepta a superfície da Terra, e os observadores verão um *eclipse anular*. Os eclipses anulares do Sol são mais prováveis de acontecer quando a Terra está no periélio (mais próxima do Sol, o que significa maior diâmetro angular do Sol) e a Lua está no apogeu (mais afastada da Terra, o que significa menor diâmetro angular da Lua).

Eclipse anular do Sol

Eclipse total do Sol

Observadores situados na região umbral verão um *eclipse total* do Sol (Figura 20). Devido à rotação da Terra, a região de visibilidade em que ocorrem o eclipse total e o eclipse parcial desloca-se sobre a superfície da Terra, criando uma faixa de visibilidade. A duração da totalidade, para um dado local, depende das velocidades da Lua e da Terra nas respectivas órbitas, bem como das distâncias da Terra à Lua e da Terra ao Sol.

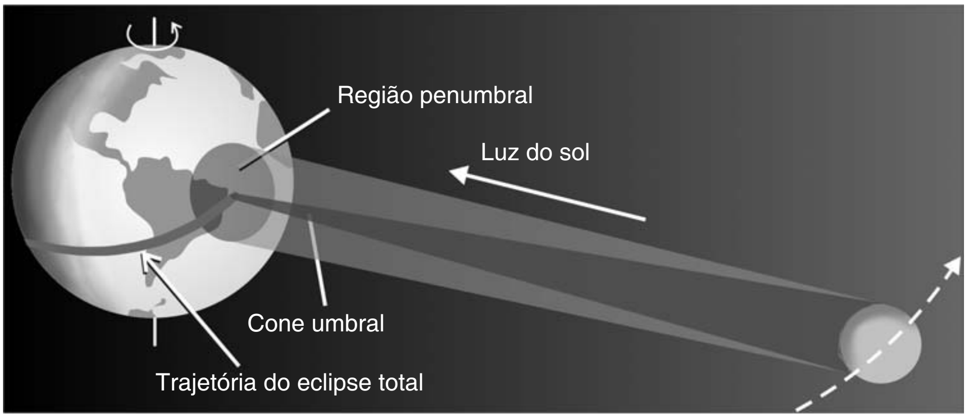


Figura 20

É bom lembrar que, quando falamos em eclipses anular e total, estamos nos referindo ao instante em que os centros do Sol e da Lua coincidem. Antes desse instante, é claro que teremos momentos em que a imagem da Lua cobrirá apenas parcialmente o Sol. A tabela apresenta uma relação dos eclipses anulares e totais visíveis no período de 2008-2012, com as áreas aproximadas por onde a trajetória do cone umbral passará. Para informações mais detalhadas sobre eclipses solares, pode-se consultar o *site* http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/solar.html.

Eclipses do Sol anulares e totais – 2008 a 2012

Data	Tipo	Instante do meio do eclipse (TU)	Duração máxima (min:seg)	Área de visibilidade
7/2/2008	Anular	4h	2:12	Pacífico Sul, Antártico
1/8/2008	Total	10,5	2:27	Canadá, Ártico, Sibéria
26/1/2009	Anular	8	7:54	Atlântico Sul, Oceano Índico
22/7/2009	Total	2,5	6:39	Ásia, Pacífico
15/1/2010	Anular	7	11:08	África, Oceano Índico
11/7/2010	Total	19,5	5:20	Pacífico, América do Sul
20/5/2012	Anular	24	5:46	Japão, Pacífico Norte, Oeste dos USA
13/11/2012	Total	22	4:02	Norte da Austrália, Pacífico Sul

A Terra também produz um cone de sombra como a Lua. Quando a Lua passa através desse cone, temos o **eclipse lunar** (Figura 21), que ocorrerá sempre na Lua cheia. No eclipse lunar, é a Lua que está sendo obscurecida, e, como a Terra tem um diâmetro de cerca de 3,7 vezes o da Lua, o cone de sombra umbral é cerca de 2,6 vezes o diâmetro da Lua, e o cone de sombra penumbral é cerca de 4,6 vezes o diâmetro da Lua. Por causa disso, o eclipse da Lua pode ser observado de quase todo o hemisfério da Terra e dura mais do que os eclipses solares. O instante da totalidade de um eclipse lunar total pode durar até 1:45h. O **eclipse lunar total** (ou **umbral**) ocorre quando a Lua passa através do cone de sombra umbral, e o **eclipse lunar penumbral**, quando a Lua passa pelo cone de sombra penumbral (Figura 22).

Eclipse lunar umbral e penumbral

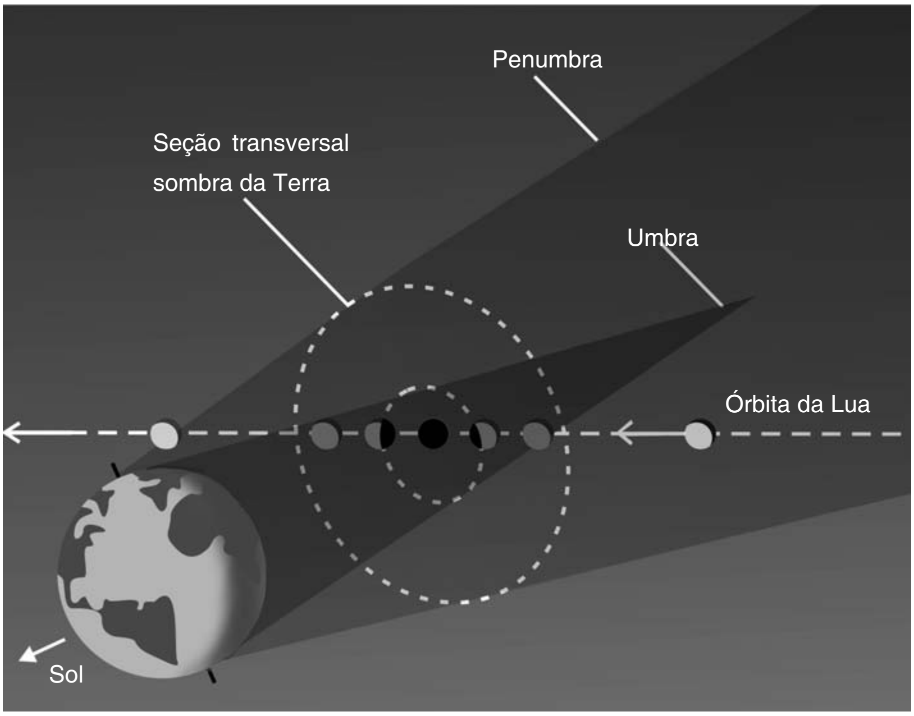


Figura 21

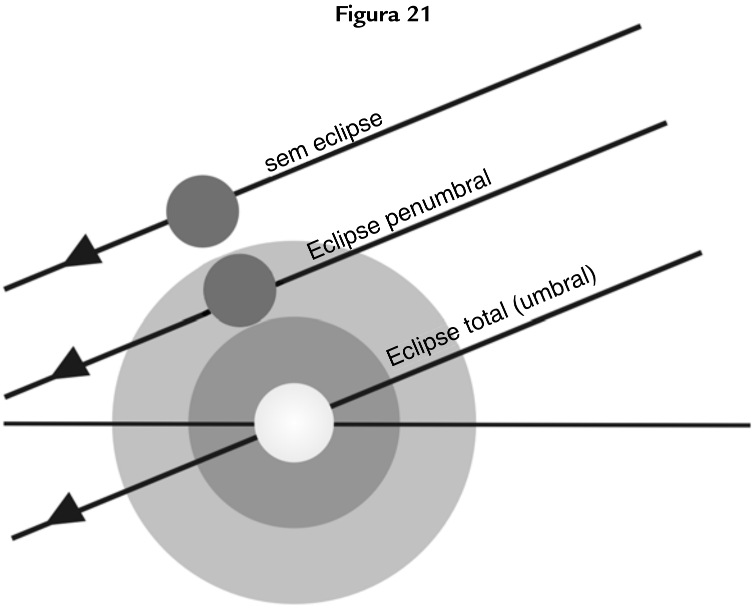


Figura 22

A Lua dá 12 ou 13 voltas na sua órbita a cada ano, passando, portanto, de 24 a 26 vezes pelos nodos da sua órbita. As condições geométricas impõem que no mínimo ocorrem 2 eclipses por ano, sendo os dois solares, e no máximo podem ocorrer 7 eclipses por ano, sendo que, nesse caso, no mínimo, devem ocorrer dois lunares. A cada **18 anos e 11,33 dias** (ou 6.585,69 dias), os eclipses ocorrem novamente numa mesma seqüência e com aproximadamente as mesmas características geométricas; esse período é chamado de **período de Saros**, e já era conhecido pelos caldeus.

Período de Saros

Se você pretende saber mais sobre características de eclipses que ocorreram no passado ou que ocorrerão no futuro, não deixe de visitar o *site* da NASA (http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html), que tem muitas informações, fotografias, referências e animações de eclipses solares e lunares.

As marés

As marés são um exemplo da estreita correlação entre fenômenos astronômicos e fenômenos terrestres. As observações do nível do oceano mostram que duas vezes por dia ele se eleva (**maré alta**) acima do nível médio e que outras duas vezes ele fica abaixo desse nível (**maré baixa**). A altura das marés pode variar entre centímetros e vários metros, dependendo do local e da data do ano. A altura típica da variação da maré em oceano aberto é da ordem de um metro. A causa das marés é a atração gravitacional exercida pelo Sol e pela Lua sobre as partículas de água. Esses fenômenos possuem natureza ondulatória e têm um retardo de cerca de 50 minutos por dia, indicando uma conexão com movimentos da Lua.

Vamos examinar primeiro a interação entre a Terra e a Lua. O nível do mar se eleva devido à atração gravitacional da Lua sobre as partículas de água (Figura 23). Esta atração gravitacional é maior do lado voltado para a Lua do que do lado oposto, que está cerca de 12.800 km mais distante. A diferença entre as forças gravitacionais que atuam nos dois lados é pequena (cerca de 3%). A força gravitacional é responsável pela elevação do bojo A, enquanto a inércia é responsável pela elevação do bojo B no lado oposto.

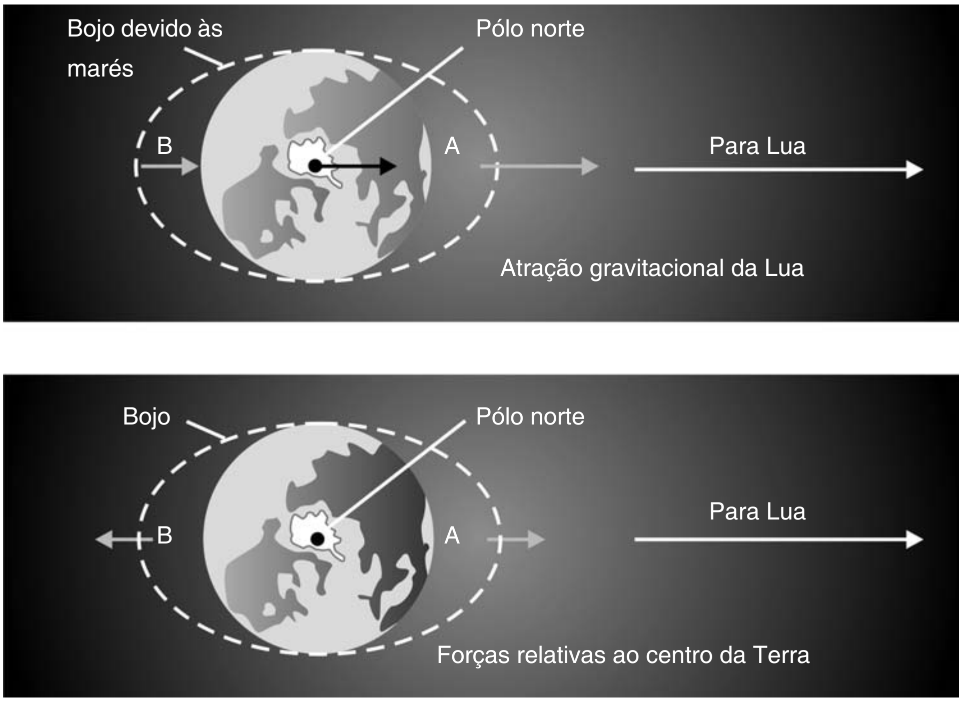


Figura 23

Tudo se passa como se a presença da Lua reduzisse o peso nos pontos A e B, reduzindo ao mesmo tempo a pressão hidrostática. Como a pressão tende a se igualar, um aumento do nível do mar nos pontos A e B corresponde a uma diminuição do nível nos pontos afastados da linha Terra-Lua. O mesmo processo ocorre com a ação do Sol sobre as marés terrestres.

FORÇA DE MARÉ

A lei da gravitação universal diz que a atração gravitacional exercida por um corpo é diretamente proporcional à *massa do corpo* e inversamente proporcional ao *quadrado da distância*, mas as forças de maré variam inversamente com o *cubo da distância* do objeto que gera as marés. Por isso, embora o Sol tenha uma massa muito maior, a Lua exerce uma força sobre as marés que é 2,17 mais forte do que a exercida pelo Sol.

MARÉS DAS SIZÍGIAS E MARÉS DAS QUADRATURAS

Portanto, existem duas *forças de maré* atuando sobre a Terra: uma apontando para o Sol e uma apontando para a Lua. A interação entre essas duas forças explica as mudanças da altura das marés ao longo do mês ou do ano. O tamanho da onda de maré depende da posição da Lua em relação ao Sol e à Terra. As marés mais altas ocorrem durante a Lua nova e a Lua cheia, e são chamadas **marés das sizígias** (Figura 24, em cima). As forças de maré do Sol e da Lua se somam. As marés mais baixas ocorrem nas **quadraturas** (Figura 24, embaixo), quando as forças de maré do Sol e da Lua estão fazendo um ângulo de 90° entre si.

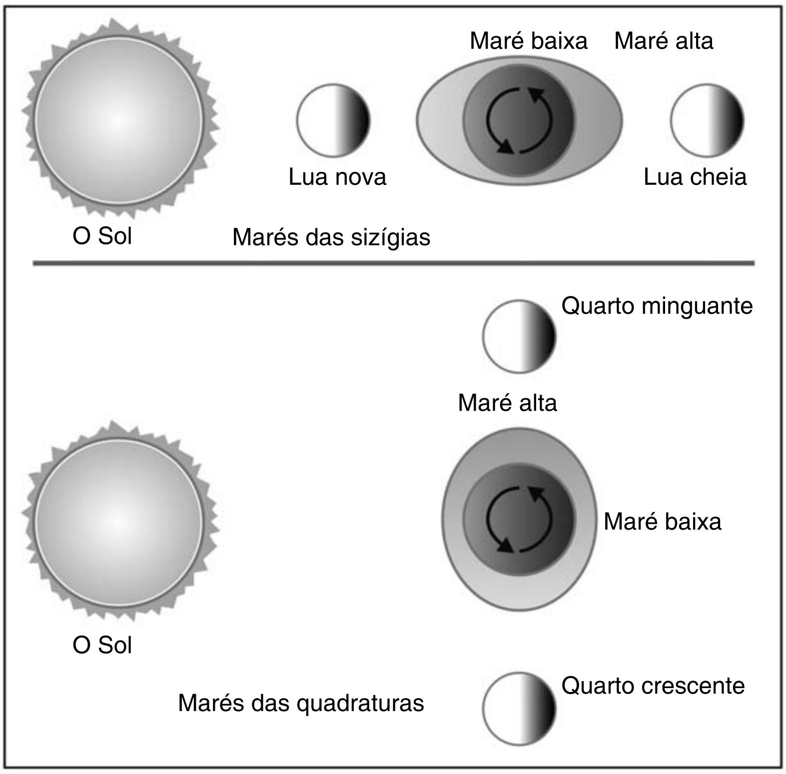


Figura 24

A onda de maré se forma no meridiano mais próximo da Lua e também no meridiano oposto, e acompanha a Lua. A onda de maré se *propaga do lado Leste para o lado Oeste*, no sentido do movimento diurno, e as marés altas deveriam se suceder com um intervalo de meio dia lunar, isto é, 12:25h, que é o tempo médio entre duas passagens da Lua por meridianos terrestres opostos. Esse intervalo não ocorre exatamente devido à forma das costas, que se constituem em obstáculos à propagação da onda de maré. Além disso, o máximo não ocorre no instante do trânsito superior ou inferior da Lua, mas sim um pouco depois. Essa defasagem é chamada de **intervalo lunitidal** e é devida à fricção das partículas de água, a ventos, à forma do fundo do mar e da costa e a outras causas locais.

INTERVALO LUNITIDAL

Por causa da rotação da Terra, a onda de maré não aponta diretamente para a Lua, havendo um pequeno deslocamento na direção do eixo de rotação terrestre. O efeito disso é frear a rotação da Terra, causando um aumento da duração do dia de cerca de 0,0015 segundo a cada século. Há cerca de 500 milhões de anos, a duração do dia era em torno de 21h. Por causa dessa diminuição da velocidade angular de rotação da Terra, a Lua se afasta cerca de 3,8 cm por século. Esse processo continuará até que a Terra gire em torno de seu eixo no mesmo tempo em que a Lua revoluciona em torno da Terra. Nesse instante, daqui a alguns bilhões de anos, o dia durará cerca de 47 dias atuais, e a distância da Lua será de 550.000 km. O efeito da força de maré causada pela Terra sobre a Lua, que é cerca de 20 vezes maior do que o efeito causado pela Lua, fez com que a Lua ficasse numa órbita síncrona, o que explica o fato de ter sempre o mesmo lado voltado para a Terra.

RETARDO NA ROTAÇÃO DA TERRA

Exemplo 4

Calcular o intervalo entre duas marés altas considerando apenas a maré causada pela Lua.

Solução

Se a Lua não girasse em relação à Terra, as marés altas ocorreriam quando a Lua passasse pelo meridiano do lugar e quando passasse pelo meridiano de um lugar exatamente oposto (diferença de 180° em longitude terrestre). Como a Terra gira em torno do seu eixo em 24 horas, o intervalo entre duas marés altas seria igual a 12 horas.

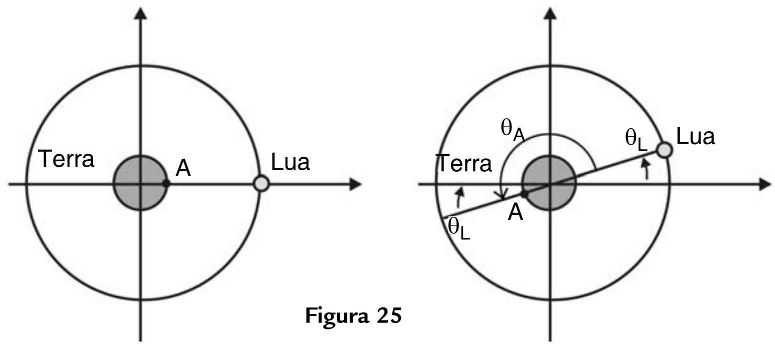


Figura 25

Entretanto, a Lua possui um movimento orbital em torno da Terra no mesmo sentido da rotação da Terra, o que faz com que o intervalo entre duas marés altas seja maior. Vamos estimar esse tempo supondo que a órbita da Lua é circular e no mesmo plano da eclíptica.

O período sideral de rotação da Terra em torno do seu eixo é de aproximadamente 24,00 h, e o período sideral de revolução da Lua em torno da Terra é de aproximadamente 27,32 dias. Logo, para um observador, as velocidades angulares de rotação do ponto A, fixo na Terra, e da Lua são, respectivamente:

$$\omega_A = \frac{360^o}{24} = 15^o/h \qquad \omega_L = \frac{360^o}{27,32} = 0,55^o/h$$

O ponto A gira com a rotação da Terra no sentido anti-horário com uma velocidade ω_A e simultaneamente a Lua também gira no sentido anti-horário com uma velocidade ω_L. Após um intervalo de tempo t, o ponto A se encontra afastado de 180° da posição da Lua (Figura 25). Como a maré alta ocorre quando a Lua cruza o meridiano no lugar, a diferença entre o ângulo θ_A percorrido pelo ponto A e o ângulo θ_L percorrido pela Lua tem de ser de 180°.

$\theta_A = \theta_L + 180^o \Rightarrow 15t = 0,55t + 180^o \Rightarrow t \cong 12,45\text{h} = 12{:}27\text{h}$

Usando valores mais precisos, o intervalo entre duas passagens da Lua pelo meridiano do lugar será igual a 24 h (tempo necessário para a Terra girar de 360°) + 52,8 min (tempo necessário para a Terra girar de um ângulo de 13,18°) = 24h52,7min. Portanto, cada maré alta está separada de 12h26,3min da outra.

O Sol é o centro do Cosmos

Aristarco de Samos (cerca de 310-230 a.C.) propôs o Sol como centro do movimento planetário e afirmou que o movimento diário do céu devia-se à rotação da Terra. Afirmou também que os movimentos planetários podiam ser explicados através da rotação dos planetas e da Terra em torno do Sol. Sua cosmologia, com o Sol ocupando o centro do Cosmos, não foi aceita na época.

Em 1543, **Nicolau Copérnico** (1473-1543) publica a obra ***Revolução dos corpos celestes***, na qual propõe o Sol como centro do sistema solar, mas com os planetas girando em círculos. No século XVII, o astrônomo alemão **Johannes Kepler** (1571-1630), que estava interessado nas relações numéricas entre os objetos no Cosmos, usou os dados das observações de Marte de **Tycho Brahe** (1546-1601) para fazer cálculos precisos da sua posição e verificou que as posições tinham pequenas diferenças quando se supunha órbitas perfeitamente circulares, como proposto por Copérnico. Kepler refez os cálculos e deduziu empiricamente três regras matemáticas para as órbitas dos planetas, conhecidas como **Leis de Kepler**, que permitiam um ajuste perfeito aos dados observacionais de Tycho:

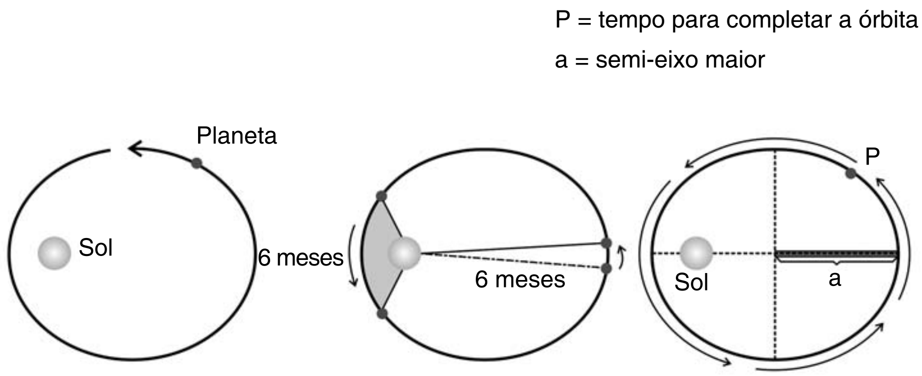


Figura 26.a **Figura 26.b** **Figura 26.c**

Regra 1: As órbitas dos planetas são elipses com o Sol em um dos focos (Figura 26.a).

Regra 2: Os raios vetores (linhas imaginárias ligando o planeta ao Sol) de cada planeta varrem áreas iguais durante tempos iguais na órbita (Figura 26.b);

Regra 3: Há uma relação constante entre os cubos dos semi-eixos maiores (a) das órbitas elípticas e os quadrados dos períodos siderais (P) dos planetas (Figura 26.c).

Leis de Kepler para os movimentos dos planetas.

$$\frac{a^3}{P^2} = k$$

A primeira regra elimina a idéia do *movimento circular* para os planetas, enquanto a segunda acaba com a idéia de que os planetas movem-se com *velocidades uniformes na sua órbita* e a terceira é a precursora da *Lei da Gravitação*, que foi desenvolvida por Newton na segunda metade do século XVII. A partir de Kepler, o modelo do sistema heliocêntrico toma a sua forma definitiva – Sol no Centro e órbitas elípticas para os corpos girando em torno do Sol.

As observações feitas por **Galileu Galilei** (1564-1642), usando um **telescópio** construído por ele, serviram para destruir os argumentos a favor do sistema geocêntrico, apresentando evidências observacionais que não poderiam ser explicadas pelo modelo geocêntrico, em especial a rotação de quatro satélites girando em torno de outro corpo (planeta Júpiter) que não a Terra e as fases de Vênus.

Telescópio é um instrumento óptico projetado para ver objetos distantes.

Os trabalhos de **Isaac Newton** (1642-1727) demonstrando teoricamente as Leis de Kepler a partir da Lei da Gravitação Universal acabaram definitivamente com a resistência à tese do heliocentrismo. Newton fez pequenas correções na primeira e na terceira leis, porque tanto o planeta quanto o Sol orbitam em torno do **centro de massa** do sistema Planeta-Sol.

Excentricidade da elipse (e) é definida pela razão e = c/a, onde **c** é distância entre o centro da elipse e um dos focos (na Figura 27 representada pela posição do Sol) e **a** é o semi-eixo maior da órbita.

1ª Lei (Lei das Órbitas): A órbita do planeta em torno do Sol é uma elipse tendo o centro de massa do sistema planeta-Sol (não o centro do Sol) em um dos focos.

2ª Lei (Lei das Áreas): Os raios vetores (linhas imaginárias ligando o planeta ao Sol) de cada planeta varrem áreas iguais em tempos iguais.

3ª Lei (Lei dos Períodos): A relação entre os cubos dos semi-eixos maiores (a) das órbitas e os quadrados dos períodos siderais (P) é função da soma das massas dos corpos envolvidos. Isto significa que a constante k definida pela 3ª regra depende da massa do Sol e do planeta. A mudança é muito pequena para o caso de um planeta orbitando o Sol, porque a massa do planeta é pequena quando comparada à do Sol.

A revolução da Terra em torno do Sol

Semi-eixo menor (b) é a distância entre os dois pontos menos afastados do centro e o próprio centro; **Semi-eixo maior (a)** é a distância entre os dois pontos mais afastados do centro e o próprio centro.

A observação do movimento do Sol e das estrelas durante semanas permite verificar que, além do *movimento diurno* da esfera celeste, o Sol apresenta um *movimento aparente* próprio. Essa conclusão é obtida porque, para o mesmo lugar de observação: as estrelas nascem e se põem sempre nos mesmos pontos do horizonte aparente, enquanto os pontos de nascer e ocaso do Sol apresentam-se em constante movimento. Para uma mesma hora durante a noite, a aparência do céu de estrelas não permanece constante, porque a hora solar (origem é marcada pela posição do Sol) difere a cada dia em cerca de quatro minutos da hora sideral (origem é marcada pela posição de estrelas distantes).

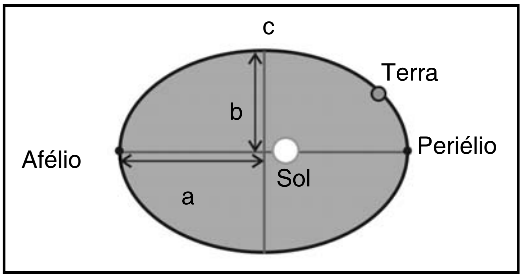


Figura 27

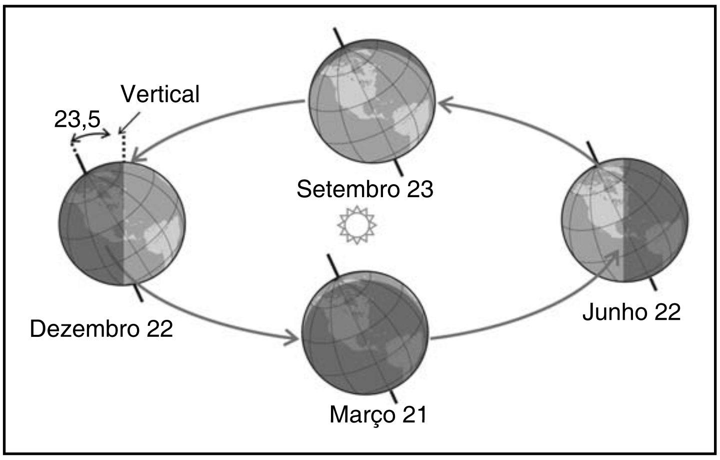


Figura 28

O movimento aparente descrito pelo Sol em relação às estrelas fixas, ao longo de um ano, é conseqüência do movimento real de revolução da Terra em torno do Sol. A órbita percorrida pela Terra em torno do Sol, em um ano, tem a forma de uma elipse (Figura 27), que está contida no plano que passa pelo centro do Sol e da Terra, chamado de plano da **eclíptica**, que ganhou este nome porque, para que haja um eclipse do Sol ou da Lua, é necessário que a Lua esteja também próxima deste plano. Como o Sol ocupa um dos focos da elipse, a distância da Terra ao Sol varia ao longo de ano, sendo que a mínima está próxima de 2 de janeiro (147.100.000 km), e a máxima, próxima de 2 de julho (152.100.000 km). Nas vizinhanças de 3 de abril e 1º de outubro, a Terra está à distância média de 150.000.000 km. A variação de apenas 5.000.000 km entre a distância mínima (chamada de **periélio**) e a máxima (chamada de **afélio**) indica que a *excentricidade* da elipse é muito pequena (e = 0,01675), isto é, a órbita é quase circular.

O **PERIÉLIO** é o ponto da órbita de um planeta em que ele está mais próximo do Sol; o **AFÉLIO** é o ponto da órbita de um planeta em que ele está mais afastado do Sol.

O fato de a Terra ter o seu eixo de rotação inclinado de cerca de 23,5° (Figura 28) em relação à vertical do plano de sua órbita em torno do Sol (eclíptica) implica que cada hemisfério terrestre recebe uma quantidade de calor diferenciada ao longo do ano, daí resultando as *estações do ano*, cuja causa é a variação da altura do Sol sobre o horizonte aparente, ao longo do ano, e não as variações da distância Terra-Sol, como erroneamente vários livros didáticos afirmam. Além disso, como a velocidade da Terra na sua órbita não é uniforme, sendo mais rápida próxima do periélio e mais lenta próxima do afélio, *a duração das estações do ano é desigual*.

As estações do ano

As *estações do ano* são as conseqüências mais importantes do passeio da Terra pelo espaço em volta do Sol, porque afetam diretamente as condições de sobrevivência do homem. Como o plano que passa pela eclíptica, que é o caminho aparente do Sol, está inclinado em relação ao plano que passa pelo equador da Terra, que define o equador celeste, de um ângulo de aproximadamente 23,5°, a altura máxima do Sol em relação ao horizonte varia ao longo do ano. Na Figura 29, é mostrada a trajetória do Sol ao longo do dia, em várias épocas do ano, para uma cidade com latitude 40° Sul. O observador se encontra olhando para o Norte. No dia 22 de dezembro, o Sol se encontra mais ao Sul (solstício de verão), no hemisfério do observador e descreve a trajetória aparente mais alta em relação ao horizonte. Nos dias 21 de março ou 22 de setembro, o Sol nasce e se põe nos pontos cardeais Leste e Oeste (equinócio de outono e da primavera). O Sol está em cima do equador celeste. No dia 22 de junho, o Sol se encontra mais ao Norte (solstício de inverno), e a sua trajetória no céu é mais baixa em relação ao horizonte.

Trajetórias diárias do Sol

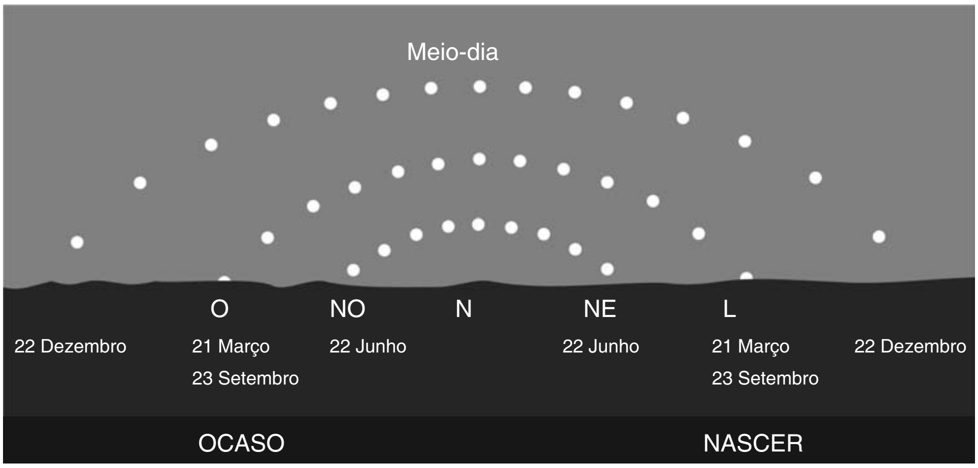


Figura 29

Se visualizarmos agora a esfera celeste projetada num plano perpendicular à direção Oeste-Leste (Figura 30), podemos entender melhor a variação da altura do Sol sobre o horizonte. Na figura, vemos a altura do Sol em relação ao horizonte, no instante da passagem pelo meridiano do lugar, em uma localidade de latitude 40° Sul. A altura do pólo celeste elevado (pólo sul celeste) em relação ao horizonte é igual à latitude do lugar (φ = 40°). O equador celeste está distante de 90° em relação aos pólos celestes. Se medirmos as posições do Sol ao longo do ano, verificamos que a declinação do Sol (afastamento angular do Sol em relação ao equador celeste) varia entre dois pontos extremos ($\delta \approx +23,5°$ e $\delta \approx -23,5°$), chamados de **solstícios** (inverno e verão). Nesses pontos, a trajetória do Sol no instante de máxima altura (ao cruzar o meridiano local – próximo do meio-dia local) será igual à altura do equador celeste (90° - 40° = 50°) ± 23,5° (veja Figura 30). Portanto, o Sol passará à máxima altura h_{max}=50°+23,5°=73,5° no solstício de verão e passará à altura mínima h_{min}=50° - 23,5° = 26,5° no instante do solstício de inverno.

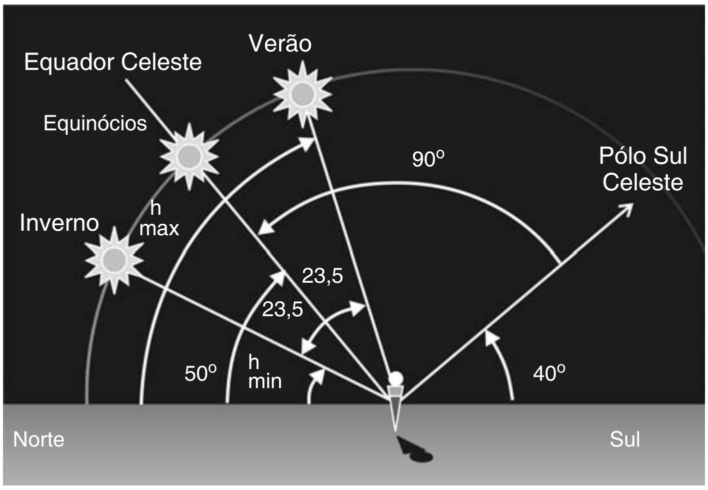


Figura 30

Os solstícios são simétricos em relação à órbita e ocorrem aproximadamente em 22 de junho (*solstício de junho* – ponto 1) e 22 de dezembro (*solstício de dezembro* – ponto 3) de cada ano (Figura 31). Nestes pontos, o Sol inverte a direção do seu deslocamento em declinação, tendo, portanto, *velocidade aparente nula em declinação*. Os pontos em que a *declinação é nula*, isto é, quando o Sol está sobre o equador celeste, são simétricos em relação à órbita e chamados de **equinócios**, ocorrendo aproximadamente em 21 de março (*equinócio de março* – ponto 4) e 23 de setembro (*equinócio de setembro* – ponto 2) de cada ano. O valor de 23,5° é chamado de **OBLIQÜIDADE DA ECLÍPTICA** (ε) e é o valor da *inclinação* do plano da órbita da Terra em relação ao plano do equador celeste.

OBLIQÜIDADE DA ECLÍPTICA é o ângulo entre o plano da órbita da Terra e o plano que passa pelo equador da Terra.

INÍCIO DAS ESTAÇÕES DO ANO

Por convenção, os pontos de equinócio e solstício marcam o instante do início de cada uma das estações do ano. Quando o Sol cruza o equador celeste, vindo do hemisfério sul celeste (ponto 4), ocorre o equinócio de março, que determina o início do *outono* para localidades no hemisfério sul terrestre (e *primavera* para localidades ao norte); quando chega ao solstício de junho (ponto 1), inicia-se ao *inverno* para o hemisfério sul (e o *verão* para o hemisfério norte); ao cruzar de novo o equador celeste vindo do hemisfério norte (ponto 2), inicia-se a *primavera* para o hemisfério sul (e o *outono* para o hemisfério norte); prosseguindo em sua caminhada para o sul até atingir o solstício de dezembro, que marca o início do *verão* para o hemisfério sul (e o *inverno* para o hemisfério norte).

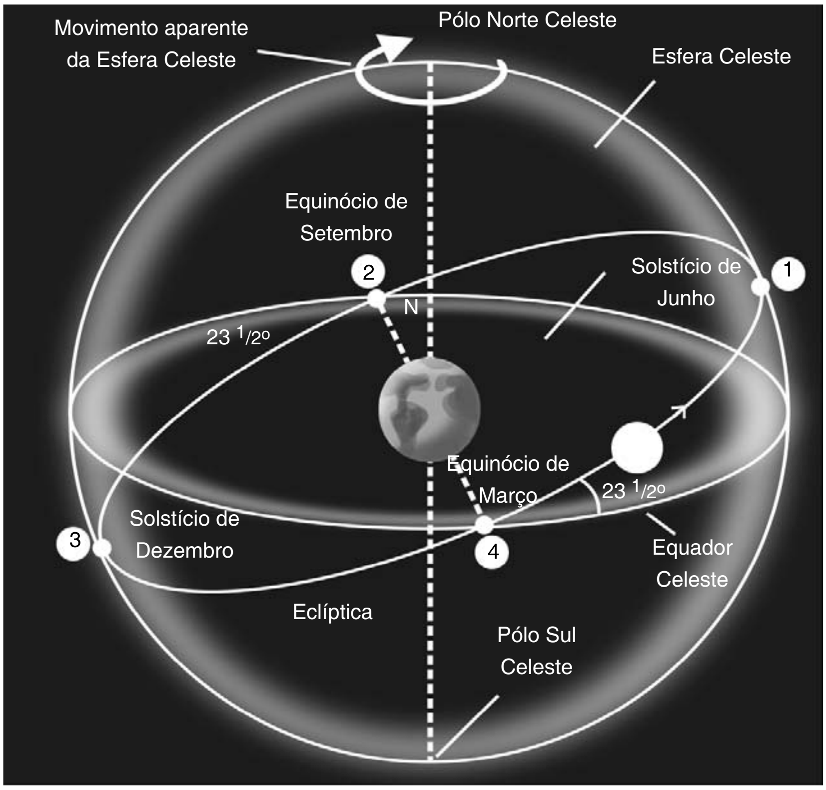


Figura 31

Então, em uma localidade de latitude de 40° Sul, a altura do Sol em relação ao horizonte ao cruzar o meridiano do lugar varia ao longo do ano entre 73,5° (no início do verão) e 26,5° (no início do inverno). A inclinação dos raios solares determina a quantidade de calor transferida para uma área do solo. Quanto mais a pino (ângulo próximo de 90°) estiver o Sol, maior será o fluxo luminoso por unidade de área (e mais calor será transferido).

Para melhor compreensão, faça o seguinte experimento: pegue uma lanterna e com ela em posição vertical ilumine o chão (Figura 32, à esquerda). Você verá que a luz da lanterna criará um círculo luminoso na superfície, ou seja, o fluxo luminoso estará todo concentrado no círculo. Agora vá inclinando devagar a lanterna e observando que o círculo se deformará, transformando-se em elipses cada vez maiores. Ora, o mesmo fluxo luminoso se espalhará por uma área da superfície cada vez maior e, portanto, a quantidade de energia por unidade de área será cada vez menor quanto menor for a inclinação da luz da lanterna em relação ao solo. Veja um simulador de variação das condições de iluminação com as estações do ano em http://astro.unl.edu/naap/motion1/animations/seasons_ecliptic.swf .

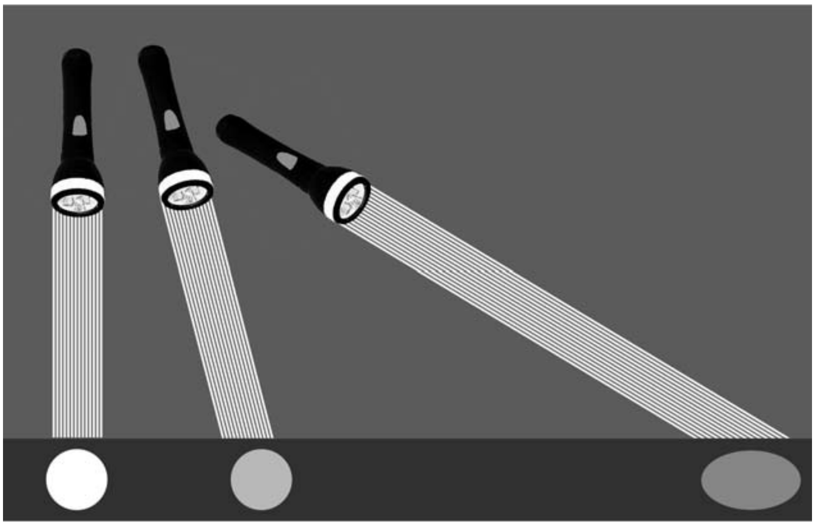


Figura 32

CAUSA DAS ESTAÇÕES DO ANO

Devido à inclinação do eixo da Terra, o hemisfério norte recebe maior quantidade de calor por unidade de área quando do solstício de junho – verão para o hemisfério norte (Figura 33). Semelhantemente, no solstício de dezembro (verão para o hemisfério sul) é agora o hemisfério sul que recebe a maior quantidade de calor. Quanto mais quantidade de calor recebida por unidade de área, maior será a temperatura. Nos equinócios, os dois hemisférios recebem idênticas quantidades de calor (Figura 34), e as temperaturas serão aproximadamente iguais. Então, os hemisférios terrestres receberão quantidades variadas de calor ao longo de uma revolução da Terra em torno do Sol, o que explica as estações do ano. Note que estamos falando em temperaturas médias, que podem ser muito diferentes das temperaturas ambientes (sujeitas a diversos fatores climáticos e atmosféricos locais).

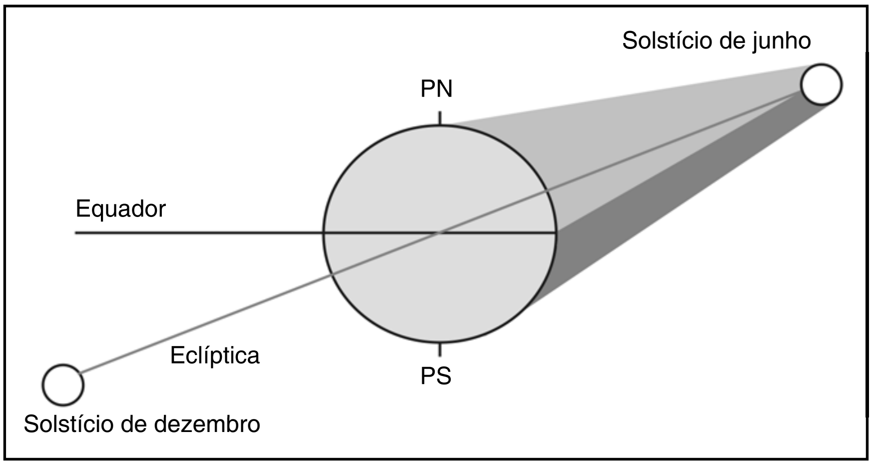


Figura 33

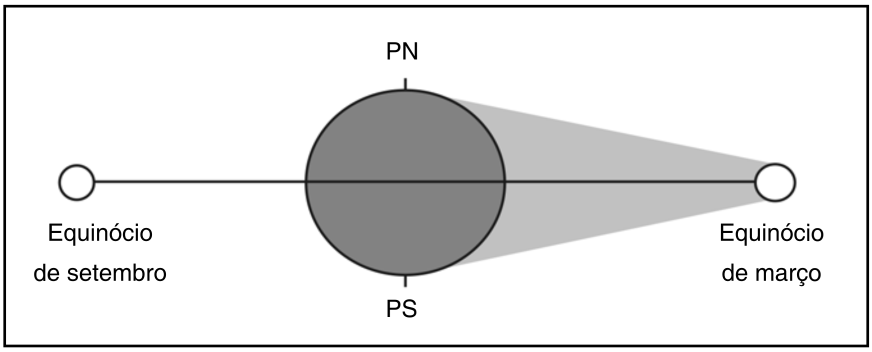


Figura 34

Uma preconcepção muito comum sobre as estações do ano é atribuir sua causa à variação da distância Terra-Sol. Realmente, a energia que nos alcança depende da distância do Sol (a energia cai com o quadrado da distância), que varia ao longo do ano. Entretanto, esta variação é muito pequena (cerca de 3,3% entre o periélio e o afélio) em relação à distância média. Se fosse esta a causa, o verão e o inverno ocorreriam ao mesmo tempo em toda a Terra e não em épocas diferentes para cada hemisfério.

Outro equívoco cometido é imaginar que a inclinação do eixo de rotação da Terra varia a sua orientação ao longo do ano (como na Figura 35). Durante um ano, o eixo de rotação permanece praticamente sempre apontado para a mesma direção espacial (como na Figura 36).

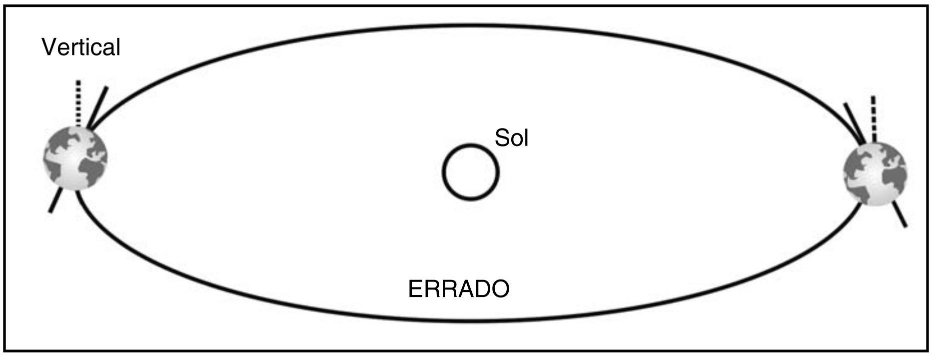


Figura 35

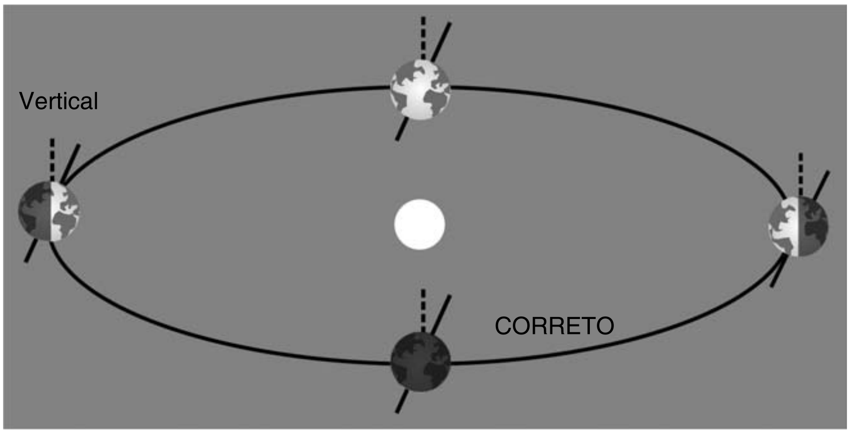


Figura 36

Na realidade, existe uma variação da orientação espacial do eixo de rotação em relação a uma reta perpendicular ao plano da órbita da Terra (eclíptica), mas essa variação ocorre muito lentamente (dá uma volta completa em cerca de 26.000 anos) e não é perceptível na escala anual (Figura 37). Esse fenômeno chama-se **precessão dos equinócios.**

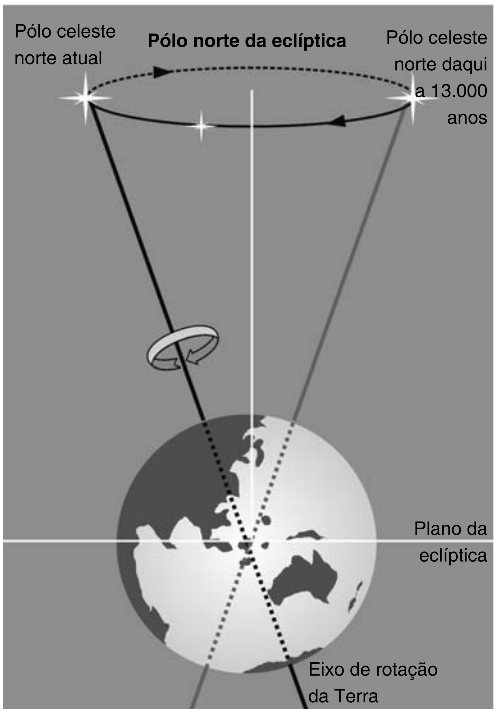


Figura 37

PRECESSÃO DOS EQUINÓCIOS é o deslocamento do pólo celeste em torno do pólo da eclíptica.

REGIÕES CLIMÁTICAS DA TERRA

Como a quantidade de calor total recebida ao longo do ano varia com a latitude, dividimos a superfície da Terra em cinco regiões climáticas (Figura 38): duas calotas polares, duas zonas temperadas e uma zona tropical.

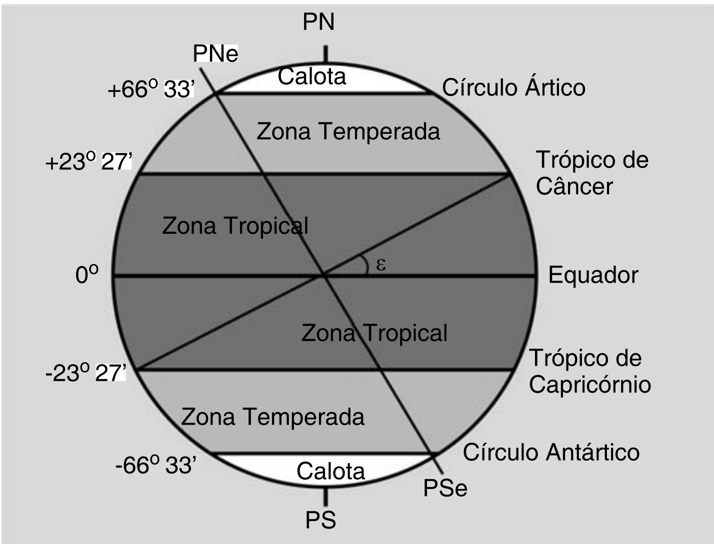


Figura 38

As duas **calotas polares** são as regiões mais frias da Terra, onde a temperatura chega até – 70ºC porque recebem os raios solares muito inclinados. As calotas contêm os pólos norte e sul geográficos e são limitadas pelos círculos polares, cuja posição é definida pela interseção do eixo de rotação eclíptico (pólo norte eclíptico – pólo sul eclíptico) com a face da Terra. O **círculo polar ártico** tem uma latitude geográfica de 66° 33’ e delimita a **calota polar ártica**. O **círculo polar antártico** tem latitude - 66° 33’ e delimita a **calota polar antártica**.

As duas **zonas temperadas** são as zonas esféricas compreendidas entre o círculo polar e o trópico do mesmo hemisfério, que é o paralelo de latitude igual em módulo à obliqüidade da eclíptica (ε = **23° 27’**). Chama-se **trópico de Câncer** ao trópico de latitude + ε e de **trópico de Capricórnio** àquele com latitude - ε. Estas regiões recebem os raios solares com inclinação não tão oblíqua quanto nos pólos e apresentam as estações bem marcadas.

A **zona tropical** é a zona esférica compreendida entre os dois trópicos. É a região mais quente da Terra, porque recebe luz e calor o ano inteiro de modo quase perpendicular.

Cálculo da radiação recebida por um local

A quantidade de energia solar que atinge a Terra depende da inclinação dos raios solares em relação à superfície. Nos pólos, a luz chega bastante inclinada em relação à normal, e a quantidade de calor recebida por unidade de área é menor do que no equador, aonde ela chega perpendicularmente ou quase. Vamos definir a quantidade de **energia solar** (**E**) que atinge uma **unidade de área da Terra** (**A**) como sendo a quantidade de **insolação** (**I**). Em outras palavras, *insolação* é a quantidade de energia solar recebida sobre uma dada superfície de área num dado intervalo de tempo, e é comumente expressa em unidades de Watts por metro ao quadrado (W/m^2) e dada por:

INSOLAÇÃO DE UM LOCAL

$$I = \frac{E}{A}$$

A insolação (I_T) recebida no topo de nossa atmosfera, isto é, a quantidade de energia solar que alcança o topo da atmosfera da Terra, por unidade de área, por unidade de tempo, é dada pela expressão:

$$I_T = \frac{L_\Theta}{4\pi D^2}$$

LUMINOSIDADE
é a quantidade de energia emitida pelo astro em todas as direções por unidade de tempo.

onde $\mathbf{L_\Theta}$ é a luminosidade do Sol (que é considerada constante e igual a 3,86 x 10^{26} W), e **D** é a distância Terra-Sol (fornecida em metros) no instante desejado. Assim, a quantidade de energia recebida por uma área de 1 m^2 por segundo no topo da nossa atmosfera é igual a ~ **1365** W – quantidade conhecida como **constante solar**, energia equivalente que poderia acender quase 14 lâmpadas de 100 W cada. Esse valor refere-se à distância média de 1 unidade astronômica (~150.000.000 km). A energia que alcança a superfície da Terra é menor porque essa radiação tem de atravessar a atmosfera terrestre, que reflete um percentual dessa energia. Para efeito de aproximação, vamos ignorar a perda.

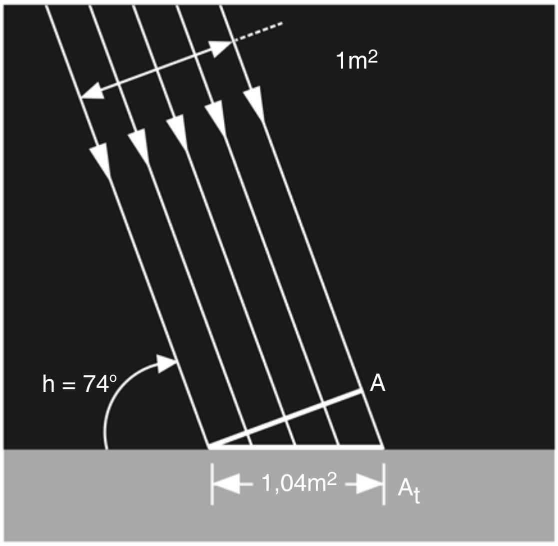


Figura 39

A insolação (I_h) recebida por uma área A_t, no solo, proveniente de raios inclinados de uma altura h, é então dada por:

$$I_h = \frac{E}{A_t}$$

Mas as áreas estão relacionadas por (veja Figura 39):

$$A = A_t.\text{sen}(h)$$

Substituindo o valor de A_t dado por esta expressão na expressão anterior:

$$I_h = \left(\frac{E}{A}\right).\text{sen}(h) = I_t.\text{sen}(h)$$

Quando o Sol está a uma *altura h* acima do horizonte, a mesma energia é espalhada por uma *área maior* (A_t) e, portanto, a *insolação* varia com a altura do Sol sobre o horizonte, que depende da *época do ano* e da *latitude* do lugar. Quanto menor a altura, maior será a inclinação dos raios solares e menor será a insolação. O mesmo fenômeno ocorre diariamente tanto no amanhecer quanto ao entardecer, horários em que o Sol encontra-se próximo do horizonte do lugar. Nas proximidades do meio-dia local, o Sol encontra-se o mais alto no céu, e o calor é mais intenso.

Exemplo 5

Qual seria a área em que a radiação solar incidindo num ângulo de 30° em relação ao horizonte se espalharia?

Solução

Usando a fórmula vista, vê-se que a radiação solar contida num feixe de 1 m² se espalharia por uma área duas vezes maior.

$$A_t = 1/\text{sen } 30° = 2 \text{ m}^2$$

Exemplo 6

Calcular a quantidade de energia solar que alcança 1 metro da superfície do planeta Marte, quando ele estiver à sua distância média de 228.000.000 km e comparar com a recebida pela Terra.

Solução

Vamos substituir os valores na expressão para I_T, mas lembrando que temos de transformar a distância D de quilômetro para metro. Assim, chamando de I_M o valor para Marte, temos:

$$I_M = (3{,}86 \times 10^{26})/(4\pi.(2{,}28 \times 10^{11})^2\ ) \cong 591 \text{ W/m}^2$$

que é cerca de I_T/I_M = 1.365/591 = 2,3 vezes menor do que a recebida pela Terra. Esta é a razão principal por que a temperatura média de Marte é de - 23°C, bem menor do que a temperatura média da Terra, que é de + 22°C.

A energia recebida do Sol no periélio é cerca de 6,9% maior do que no afélio. Quando a Terra está no periélio (janeiro), é verão no hemisfério sul, indicando um possível verão mais quente no hemisfério sul do que no hemisfério norte, que ocorre quando a Terra está no afélio (junho). Entretanto, fatores localizados (por exemplo, maior concentração de terra no hemisfério norte) suplantam a possível variação de temperatura devido à variação da distância do Sol. Então, podemos considerar a quantidade de energia que chega do Sol como sendo independente da distância e, portanto, constante.

Usando as fórmulas anteriores, podemos calcular a variação da razão [*insolação no verão* (I_v)/*insolação no inverno* (I_i)] em função da altura do Sol na passagem meridiana nos solstícios para cinco latitudes diferentes. Para latitudes altas, existe uma diferença enorme entre a quantidade de insolação recebida no verão e a recebida no inverno – cerca de 85 vezes. Essa diferença vai se reduzindo à proporção que caminhamos na direção do equador terrestre, onde não haverá variação entre essas duas épocas (veja tabela a seguir).

Latitude do lugar (ϕ)	Altura do Sol Solstício de dezembro (δ = -23,5°)	Altura do Sol Solstício de junho (δ = 23,5°)	I_v / I_i
- 66°	47,5°	0,5°	84,49
- 23,5°	90°	43,0°	1,47
0°	66,5°	66,5°	1,00
+23,5°	43,0°	90°	1,47
+66°	0,5°	47,5°	84,49

Exercício 6

Calcule o valor da quantidade de energia recebida do Sol, no topo da atmosfera da Terra, nos instantes do periélio e do afélio.

Para saber mais

Duração das estações do ano

Ao longo de 365 dias e 6 horas aproximadamente, a Terra percorre uma distância de cerca de 940 milhões de quilômetros, o que equivale a uma velocidade média de 107.200 km/h. Então, durante o período de um dia, a Terra percorre cerca de 200 vezes o seu diâmetro. Devido à órbita não ser circular, a velocidade não é constante, sendo mais rápida quando a Terra se encontra próxima do Periélio e mais lenta quando se encontra próxima do Afélio. Essa **variação de velocidade** traz como conseqüência **durações desiguais** das estações do ano.

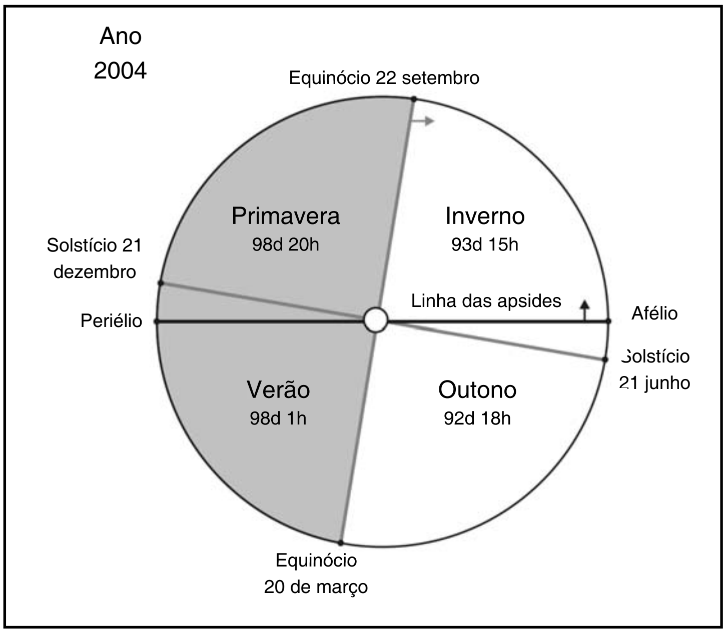


Figura 40

Suponha que a órbita é circular (isto é, uma boa aproximação para a da Terra) e que será percorrida com velocidade variável pela Terra. Então, o arco de 180° que vai do equinócio de março ao equinócio de setembro (área escurecida da Figura 40), passando pelo periélio, será mais rapidamente percorrido, porque a Terra tem maior velocidade nesse trecho. Já o outro arco

LINHA DAS APSIDES é uma linha imaginária que une os pontos da órbita da Terra onde se localizam o periélio e o afélio.

LINHA DOS SOLSTÍCIOS é uma linha imaginária que une os pontos da órbita da Terra em que ocorrem os solstícios.

de 180°, que passa pelo afélio, será percorrido mais lentamente pela Terra. Logo, para o hemisfério sul, o verão e a primavera são mais curtos porque a Terra está passando próxima do seu periélio. A Terra demora cerca de 178 dias e 21 horas no setor da elipse, demarcado pela linha dos equinócios, que contém o periélio, contra 186 dias e 9 horas em que ela permanece no setor que contém o afélio. Quando o eixo maior da órbita, conhecido como **linha das apsides** (linha periélio-afélio), coincidir com a **linha dos solstícios** (a última vez que isso ocorreu foi em 1250 d.C.), as durações da primavera e do verão no hemisfério sul serão iguais, bem como as durações do outono e inverno. A linha que une os equinócios e, conseqüentemente, a Linha dos solstícios apresenta uma rotação no sentido horário devido ao fenômeno da precessão. Na tabela, vemos a duração média das estações do ano em 2004 que está representado na Figura 40.

Período	**Hemisfério sul**	**Hemisfério norte**	**Duração**
20/3 a 21/6	Outono	Primavera	92d 18h
21/6 a 22/9	Inverno	Verão	93d 15h
22/9 a 21/12	Primavera	Outono	89d 20h
21/12 a 20/3	Verão	Inverno	89d 01h

As dimensões do sistema solar

Apesar das medidas feitas por Aristarco, Eratóstenes e Hiparco, os gregos não tinham noção tanto dos tamanhos dos planetas quanto das dimensões reais do sistema solar. Até a publicação das Leis de Kepler, especialmente a 3ª Lei (que ocorreu em 1619), as únicas dimensões e distâncias conhecidas eram as relativas ao Sol, à Terra e à Lua, e, mesmo assim, com grandes erros quando se tratava do Sol. Sabia-se que os planetas deveriam estar longe, mas não o quanto. Pior ainda para a distância das estrelas, que se assumia estarem muito distantes. A 3ª Lei de Kepler afirma que há uma relação constante entre os quadrados dos períodos de revolução (P) dos planetas em torno do Sol e os cubos das distâncias médias (a) ao Sol. Essa lei permitiu obter todas as distâncias dos planetas ao Sol em função da distância Terra-Sol, que na época era desconhecida e teve seu valor igualado ao valor 1 (veja tabela a seguir). A distância média da Terra ao Sol é conhecida como Unidade Astronômica (ua) e serve como régua para medida de distâncias no sistema solar. O valor da **Unidade Astronômica** é igual a 149.597.870 km.

UNIDADE ASTRONÔMICA

Como a lei é valida para qualquer planeta, Kepler armou as proporções (como exemplificado) para todos os planetas.

$$\frac{(\text{Período da Terra})^2}{(\text{Distância Terra-Sol})^3} = \frac{(\text{Período de Marte})^2}{(\text{Distância Marte-Sol})^3} = \frac{(\text{Período de Vênus})^2}{(\text{Distância Vênus-Sol})^3} = \frac{P^2}{a^3} = k$$

Para a construção de uma tabela de distâncias dos planetas, o período sideral da Terra era conhecido e igual a **1 ano**, a distância média Terra-Sol foi igualada a **1** e os períodos siderais eram conhecidos através das medidas dos períodos sinódicos dos planetas, como já foi visto anteriormente. Assim, foi construída uma escala de distâncias relativas baseadas na distância média da Terra ao Sol.

Exemplo 7

Calcular a distância média de Marte, em unidades astronômicas, sabendo que o seu período sideral é igual a 1,881 ano da Terra.

Solução

Sabemos que os períodos siderais da Terra (P_T) e de Marte (P_M) são respectivamente iguais a 1 e 1,881 e que a distância média Terra-Sol (a_T) é igual a 1 Unidade Astronômica. Então, pela 3ª Lei de Kepler, temos que:

$(P_T^2 / a_T^3) = k = (P_M^2 / a_M^3)$ => $(1^2 / 1^3) = (1{,}881^2 / a_M^3)$ => $a_M = 1{,}524$ ua

Exercício 7

Foi descoberto um asteróide cujo período sideral determinado é de 366,5 dias. Calcule a sua distância média ao Sol e encontre o seu período sinódico.

Distâncias relativas dos planetas obtidas pela 3ª Lei de Kepler

Planeta	Período (anos)	Distância (ua)
Mercúrio	0,241	0,387
Vênus	0,615	0,723
Terra	**1,000**	**1,000**
Marte	1,881	1,524
Júpiter	11,86	5,203
Saturno	29,46	9,539
Urano[1]	84,01	19,19
Netuno[2]	164,8	30,06

1. Descoberto em 1781.
2. Descoberto em 1846.

Em 1672, G. D. Cassini e J. Richer, o primeiro em Paris e o último em Caiena, Guiana Francesa, observaram simultaneamente as distâncias angulares entre Marte e as estrelas circunvizinhas e determinaram com grande precisão a distância Terra-Marte (quando Marte estava em oposição), através do método da paralaxe trigonométrica (*vide* quadro explicativo). A distância média obtida foi de cerca de 77.000.000 km. Como pela 3ª Lei de Kepler a distância Sol-Marte equivalia a 1,524 vezes a distância Sol-Terra, o valor da unidade astronômica era aproximadamente de 148.000.000 km (valor atual ≈ 149.600.000 km). Obtido o valor da Unidade Astronômica, todas as demais distâncias do sistema solar ficaram conhecidas através da 3ª Lei de Kepler.

PARALAXE

Determinação de distâncias usando a paralaxe trigonométrica

A **Paralaxe** é o deslocamento aparente da posição de um objeto próximo quando comparado a um objeto mais distante devido à mudança da posição do observador. A Figura 41 mostra que a posição do poste em relação à posição do edifício ao fundo muda conforme a posição do observador muda. As leituras diferentes de uma escala quando olhamos com inclinações diferentes o fiel do cursor também são um exemplo de paralaxe.

Figura 41

O deslocamento angular da posição do objeto devido à paralaxe, chamado de **deslocamento paraláctico**, é usado para a determinação de distâncias de objetos na superfície da Terra, em um processo conhecido como triangulação, que está baseado na Geometria euclidiana e pode ser também aplicada na medida de distâncias astronômicas. A distância é uma quantidade fundamental não só para a Astronomia, mas também nas atividades cotidianas dos indivíduos.

Imagine que precisamos medir a distância de uma árvore que está na outra margem de um rio (Figura 42). O método mais direto é medir usando uma fita métrica, o que não pode ser feito devido ao obstáculo representado pelo rio. Observando-se a árvore do ponto B, obtemos uma direção BO. Observando-se agora do ponto C, obtemos uma direção CO. O ângulo 2p formado pelas duas direções vem a ser a mudança de direção observada quando nos deslocamos de um ponto B para um ponto C de observação. A distância entre B e C nos fornece uma *linha base* cujo comprimento podemos medir.

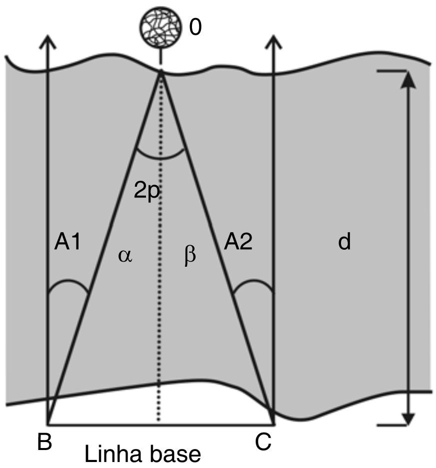


Figura 42

No triângulo **OBC**, a linha base **BC** tem dimensões conhecidas e também os ângulos **A1** e **A2**, que são os ângulos entre a direção do objeto visto de cada extremidade e a direção de um objeto muito mais distante tomado como referência, que serão medidos através de instrumentos, tais como o teodolito. Pela Trigonometria (igualdade entre ângulos alternos-internos), temos que:

$A1 = \alpha \quad \therefore \quad A2 = \beta$

$2p = \alpha + \beta = A1 + A2$

O valor da paralaxe será dado por:

$\mathbf{\tan p = BC/2d}$

Mas como 2p e a linha base BC são conhecidos, obteremos a distância **d** imediatamente. É claro que, quanto mais distante está o objeto, menor será o ângulo **p**, de tal modo que para medirmos a paralaxe de objetos muito distantes precisamos aumentar o comprimento da linha base.

PARALAXE TRIGONOMÉTRICA

Ano-Luz

Transportando o exemplo para o campo da observação astronômica, precisamos encontrar uma linha base suficientemente longa; além disso, os ângulos só podem ser medidos em relação a astros mais distantes. As paralaxes determinadas por este método de triangulação são chamadas de **paralaxes trigonométricas** e são as bases das escalas de distâncias astronômicas.

PARALAXE TRIGONOMÉTRICA

A distância máxima entre dois pontos na superfície da Terra unidos por uma reta (Figura 43) não passa de 12.750 km (diâmetro da Terra), que, embora suficiente para medidas de distância dos objetos no sistema solar, não é suficiente para a medida das distâncias estelares. A linha base empregada nas medidas de distâncias estelares é a distância entre pontos opostos da órbita da Terra em torno do Sol (Figura 44), cerca de 2 Unidades Astronômicas (300.000.000 km).

A distância que a luz viaja em um ano (= 9,4607 x 1012 km) é chamada de **ano-luz** e é usada popularmente como unidade de medida de distância.

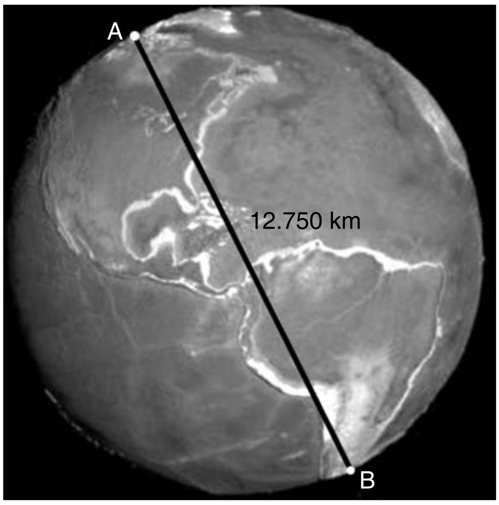


Figura 43

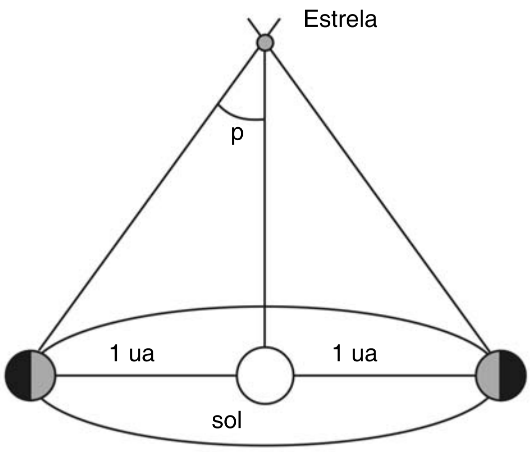


Figura 44

Na tabela a seguir, vemos as distâncias correspondentes ao ângulo paraláctico p, para a linha base igual à separação entre dois pontos opostos da órbita da Terra (= 2 ua), fornecidas em quilômetros (km), unidades astronômica (ua), ano-luz (al) e parsec (pc). Para medir distâncias, os astrônomos empregam o **Parsec** (**Par**allax **Sec**ond), que é a distância equivalente à paralaxe de 1" de arco. A unidade de um milésimo de segundo de arco é comumente chamada de **mas** (**m**ili-**a**rc **s**econd) e, atualmente, é o limite de precisão para medidas angulares em Astronomia. Assim, somente podemos medir distâncias usando o método da paralaxe trigonométrica, com razoável precisão, até cerca de 500 parsecs.

PARSEC

p	d (km)	d (ua)	d (al)	d (pc)
1°	$8{,}571 \times 10^9$	57,29	7,94 horas luz	
1'	$5{,}143 \times 10^{11}$	3437,75	0,054	
1"	$3{,}086 \times 10^{13}$	$2{,}063 \times 10^5$	3,26	1
0,1"	$3{,}086 \times 10^{14}$	$2{,}063 \times 10^6$	32,62	10
0,01"	$3{,}086 \times 10^{15}$	$2{,}063 \times 10^7$	326,16	100
0,001"	$3{,}086 \times 10^{16}$	$2{,}063 \times 10^8$	3261,6	1.000

Uma lei absolutamente empírica, descoberta por J. D. Titius (1729-1796) em 1766, e mais tarde estudada e divulgada por J.E. Bode (1747-1826), a chamada "Lei de Bode", fornece-nos uma escala razoável para a distância dos planetas e apresenta a vantagem de se chegar a todos os valores com extrema facilidade. Comecemos escrevendo a série:

0 3 6 12 24 48 96 192 384

LEI DE BODE

Os dois primeiros termos são facilmente memorizáveis (0 e 3), e os demais se obtêm sempre dobrando os valores a partir de 3. Em seguida, somamos 4 a cada um destes números:

4 7 10 16 28 52 100 196 388

A seguir, dividimos por 10 e vamos obter aproximadamente as distâncias médias ao Sol em unidades astronômicas:

Planeta	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	??	Júpiter	Saturno	Urano	Netuno
Lei de Bode	0,4	0,7	1,0	1,6	2,8	5,2	10,0	19,6	38,8
3ª Lei de Kepler	0,39	0,72	1,0	1,52	.....	5,20	9,54	19,19	30,06

Comparando com as distâncias médias fornecidas pela 3ª Lei de Kepler, vemos que existem pequenas discrepâncias, com exceção das distâncias para o planeta Netuno, que não era conhecido na época, pois foi descoberto em 1846. A distância de 2,8 parecia, na época, representar uma lacuna, que foi preenchida com a descoberta do asteróide Ceres (o maior do cinturão dos asteróides entre Marte e Júpiter) em 1801, com a distância média de 2,77.

Distâncias estelares

Primeiras medidas de distâncias das estrelas.

Comparando as suas observações com as de Hiparcos e Ptolomeu, o astrônomo inglês Edmond Halley (1656-1742) verificou que as estrelas não estavam fixas como se pensava. Pelo menos três estrelas (Sírius, Procion, Arcturus) apresentavam movimentos próprios, sendo muitas mais descobertas depois. Os astrônomos, então, empregaram o método da Paralaxe Trigonométrica na observação de estrelas que apresentavam maior movimento próprio, o que indicaria maior proximidade da Terra. Entretanto, por maiores que fossem as linhas base, não se conseguia verificar qualquer movimento paraláctico. Somente em 1838 é que foram obtidas as primeiras medidas de distâncias estelares, praticamente ao mesmo tempo, pelos astrônomos F. W. Bessel (*61 Cisne* – 3,4 pc), T. Henderson (α *Centauro* – 1,3 pc) e F. G. W. Struve (α *Lira* – 8 pc). A estrela mais próxima da Terra é *Próxima Centauro*, cuja paralaxe vale somente 0,77”, um ângulo extremamente diminuto para ser medido com os instrumentos da época. Portanto, as medidas de distâncias das estrelas não foram conseguidas antes devido à precariedade dos instrumentos empregados.

A VIA LÁCTEA

Dentre as descobertas importantes feitas por Galileu (1564-1642) ao apontar o telescópio para o céu (em 1610), estava a constatação de que o Universo era constituído por estrelas. Atualmente, sabemos que as estrelas que vemos no céu fazem parte de um grande conjunto chamado de Via Láctea, que pertence à categoria das galáxias. A Via Láctea é uma galáxia com cerca de 400 bilhões de estrelas, que se espalham numa espiral em que a luz demora cerca de 100.000 anos para ir de um extremo ao outro (Figura 45).

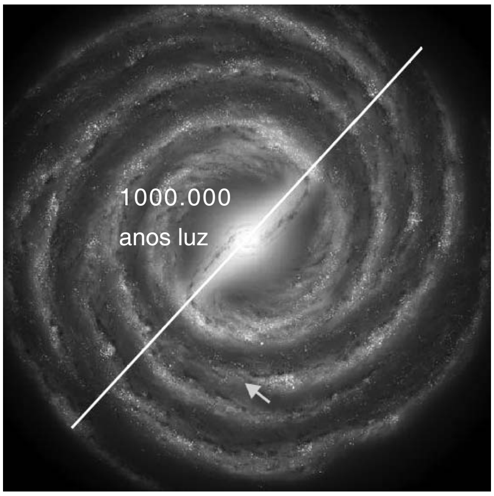


Figura 45

Exercício 8

Considerando que a Via Láctea é um corpo rígido que dá uma volta completa em 250 milhões de anos e que o Sol se encontra a 30.000 anos-luz do centro, qual seria o perímetro percorrido pelo Sol numa rotação? Qual seria a sua velocidade espacial? Qual seria a área ocupada pela Via Láctea?

Nesta aula, você viu que os primeiros modelos para a estrutura do Cosmos (o Universo) surgiram com os filósofos gregos. Duas visões foram propostas: a visão com a Terra no centro do Cosmos, que era a mais natural, pois os gregos se apoiavam nas observações; e a visão com o Sol no centro do Cosmos. Com base na visão geocêntrica, construíram um modelo para explicar os movimentos e fenômenos observados dos planetas, que chegou a um limite de complexidade com o sistema geocêntrico desenvolvido por Ptolomeu e cuja aceitação durou até meados do século XVII. Os trabalhos e as observações de Copérnico, Tycho Brahe, Kepler, Galileu e Newton apontaram as incongruências do modelo geocêntrico e levaram à sua substituição pelo modelo heliocêntrico.

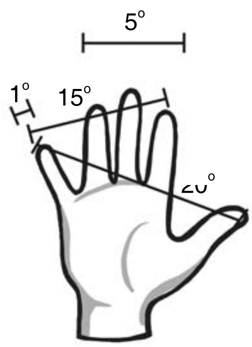
A nossa visão dos fenômenos é feita por observadores situados na superfície da Terra, que além de girar em torno do seu eixo executa um movimento de revolução em torno do Sol. Este referencial em movimento é responsável por fenômenos tais como movimento retrógrado e fases dos planetas, estações do ano e regiões climáticas na Terra. Como conseqüência do movimento da Lua, o único corpo natural que gira em torno da Terra, e das suas orientações relativas ao Sol e à Terra, ocorrem os eclipses solar e lunar. Também a influência gravitacional sobre a Terra, do Sol e da Lua principalmente é responsável pelo fenômeno das marés.

Os gregos somente tinham uma noção muito imprecisa sobre as distâncias entre a Terra, a Lua e o Sol e as dimensões destes corpos. As primeiras idéias sobre o tamanho do sistema solar começaram com a 3ª Lei de Kepler. O tamanho foi mais corretamente dimensionado a partir da determinação da distância entre a Terra e o Sol, usada como unidade de medida (unidade astronômica), feita por Cassini e Richer, com o auxílio da técnica da paralaxe trigonométrica, que mais tarde foi empregada na determinação das primeiras medidas de distâncias das estrelas, feitas por Bessel, Henderson e Struve. A paralaxe trigonométrica é a régua padrão que serve para calibrar todos os outros métodos de medidas de distância usados em Astronomia para determinar as dimensões do Universo.

Atividade 1

Deslocamento angular da Lua no céu

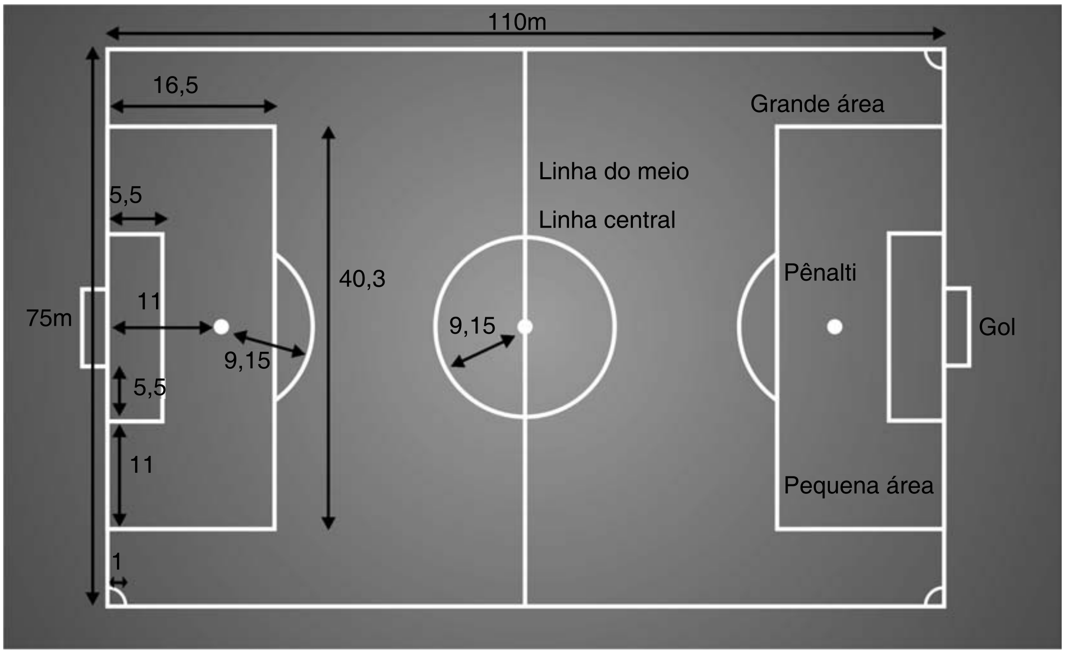
Procure marcar a posição da Lua (não deve estar próxima do horizonte) em relação a uma estrela brilhante próxima (que esteja a umas quatro luas de distância) num dado instante. Após um intervalo de tempo de uma hora, verifique o deslocamento da Lua em relação à estrela escolhida. Para ter uma idéia da distância angular no céu, você pode usar o seu próprio corpo como régua:

Distância Angular	**Padrão**	
0,5°	Diâmetro aparente do Sol ou da lua cheia.	
1°	Com o seu braço esticado, largura do seu dedo mínimo.	
5°	Com o seu braço esticado, largura dos dedos anular, médio e indicador juntos.	
10°	Com o seu braço esticado, largura da mão fechada (punho).	
15°	Com o braço esticado, distância entre o dedo mínimo e o indicador com a mão aberta.	
20°	Com o braço esticado, largura da mão aberta (distância entre o mínimo e o polegar com os dedos, totalmente separados).	

Atividade 2

O futebol dos planetas

Com os valores fornecidos pela 3ª Lei de Kepler para as distâncias médias dos planetas ao Sol, distribua as órbitas dos planetas no campo de futebol com as dimensões assinaladas na figura, de tal modo que o Sol esteja colocado no centro do campo e a órbita do planeta mais afastado ainda se encontre completamente dentro do campo. a) Quais planetas teriam as suas órbitas dentro do círculo central? b) Para que a órbita de Netuno passasse pela marca do pênalti, quais seriam os valores dos raios das órbitas dos outros planetas?


110m
16,5
Grande área
Linha do meio
5,5
Linha central
40,3
Pênalti
75m
11
9,15
Gol
9,15
5,5
11
Pequena área
1

Astronomia – Gabarito

Aula 1 – Orientação no espaço

Exercício 1

Você é um explorador que está em um oásis no meio do deserto e só tem uma bússola e um mapa com coordenadas geográficas mostrando que existe um outro oásis que se encontra a uns 6km de distância na direção oeste. Infelizmente, sua bússola quebrou. Como é possível ir para o outro oásis?

Resposta

Pode-se determinar as direções dos pontos cardeais usando-se o nascer (sentido Leste) e o ocaso (sentido Oeste) do Sol. É importante lembrar que o nascer e ocaso do Sol definem a direção da linha Leste-oeste e não a exata localização dos pontos cardeais Leste ou Oeste, que só serão definidos pelo nascer e ocaso nos instantes em que o Sol se encontrar exatamente sobre o equador celeste (isto é, nos instantes dos equinócios). O mapa indica a existência de um oásis na direção Oeste (a palavra direção aqui é empregada no seu sentido popular, mas o correto seria dizer no sentido Oeste, partindo da posição do explorador) e não no ponto cardeal Oeste.

Exercício 2

A linha meridiana define os lados Leste e Oeste como sendo os lados em que os astros nascem e se põem respectivamente. Para um planeta que girasse em torno do seu eixo em sentido contrário ao da Terra, os lados Leste e Oeste ainda teriam a mesma posição em relação à linha meridiana?

Resposta

A Terra gira em torno do seu eixo do lado Oeste para o lado Leste e, por isso, o movimento diurno dos astros ocorre do lado Leste para o lado Oeste. Para um planeta que girasse ao contrário do movimento de rotação da Terra (por exemplo, Vênus), isto é, do lado Leste para o lado Oeste, o movimento diurno dos astros ocorreria de Oeste para Leste. Assim, em relação à linha meridiana, os lados se manteriam, e os astros agora nasceriam a Oeste e se poriam a Leste, contrariamente ao que ocorre na Terra. A posição dos pontos cardeais é mantida, seguindo o sentido horário adotado (N-E-S-O) por convenção na Terra.

Exercício 3

Admitindo que o diâmetro da Terra é igual a 12.800km aproximadamente, que coordenadas retangulares um ponto com coordenadas geográficas (λ = 43° W, ϕ = -23°) teria? Note que o eixo X aponta para as coordenadas (λ = 0°, ϕ = 0°), o eixo Y aponta para as coordenadas (λ = 90°E, ϕ = 0°) e o eixo Z aponta para a coordenada (ϕ = 90°).

Resposta

A relação entre as coordenadas esféricas de um ponto (no caso coordenadas geográficas) e as suas coordenadas retangulares é fornecida pelas equações:

$$x = r \cos \lambda \cos \phi$$

$$y = r \operatorname{sen} \lambda \cos \phi$$

$$z = r \operatorname{sen} \phi$$

Substituindo os valores numéricos nas equações, tem-se:

$$x = 6.400.\cos - 43°.\cos - 23° = \mathbf{4.308{,}574\ km}$$

$$y = 6.400.\operatorname{sen} - 43°.\cos - 23° = \mathbf{-4.017{,}810\ km}$$

$$z = 6.400.\operatorname{sen} - 23° = \mathbf{-2.500{,}679\ km}$$

A longitude tem sinal negativo porque está do lado Oeste (W). O sinal negativo do eixo y significa que a localidade está no lado oeste e o sinal negativo do eixo z significa que o local está no hemisfério sul da Terra.

Exercício 4

Imagine uma esfera com 10cm de raio para a qual são fornecidas as coordenadas retangulares de um ponto (x = 7,5, y = 4,33, z = 5) sobre a esfera. Quais são as coordenadas esféricas do ponto (abscissa e ordenada)? Somente com estas informações, você poderia localizar o ponto sobre a esfera?

Resposta

Este exercício é o problema inverso do anterior e as equações serão obtidas pela manipulação das equações anteriores. Assim, tem-se

$$\tan \lambda = y / x \Rightarrow \lambda = 30°$$

$$\operatorname{sen} \phi = z / r \Rightarrow \phi = 30°$$

Na realidade, o valor da longitude teria de ser determinado calculando-se também o seu valor por meio de outra equação (por exemplo, a equação para x) para tirar a indeterminação, visto que o arco de uma tangente positiva poderia estar no 1° ou no 3° quadrante, usando a regra de sinais de funções trigonométricas. Se calcularmos o valor através da equação

$$\cos \lambda = x / r.\cos \phi \Rightarrow \lambda = 30°$$

O valor do arco do cosseno também será positivo, resultando que o ângulo estaria ou no 1º ou no 4º quadrante usando a regra de sinais. Logo, o valor do ãngulo λ só pode estar no 1º quadrante e sera igual a **30º**.

Estas informações seriam suficientes para se localizar o ponto sobre uma esfera, pois como já foi visto no capítulo, a distância ao centro (raio) da esfera é constante e não altera a posição.

Exercício 5

Quais seriam as coordenadas equatoriais celestes do ponto vernal?

Resposta

A definição do Ponto Vernal nos diz que ele é o ponto no cruzamento entre o círculo máximo do Equador Celeste e o círculo máximo da Eclíptica, quando o Sol no seu caminho sobre a Eclíptica se desloca do hemisfério Sul celeste para o hemisfério Norte. Além disso, este ponto é considerado a origem das abscissas esféricas do Sistema de Coordenadas Equatoriais Celestes. Assim, este ponto terá abscissa esférica (ascensão reta) igual a zero hora ($\alpha = 0$ h). Como as ordenadas esféricas são contadas a partir do círculo fundamental do sistema (Equador Celeste), sua ordenada esférica (declinação) é também igual a zero grau ($\delta = 0°$)

Atividade 1

Sistema de localização

Usando o mapa da Figura 26, descreva a rota que deve percorrer os mercadores de Acab para chegar primeiro até a Arab e depois até Tet, em termos dos acidentes geográficos encontrados pelo caminho. O alcance da visão dos mercadores é de no máximo 2 quadrados (incluindo onde eles estão); sabem o que é direita e esquerda; não sabem medir distâncias e não podem atravessar a lagoa, a floresta ou o pântano.

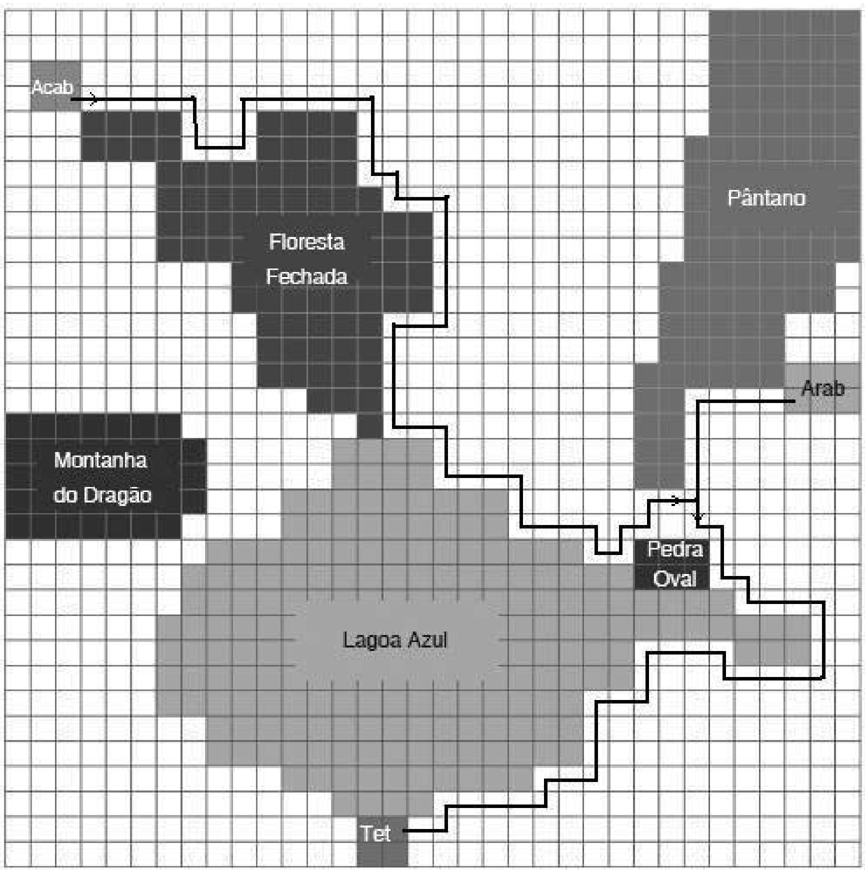


Figura 26

Resposta

Ao sair de Acab, os mercadores devem manter a floresta fechada à sua direita e ir margeando-a até encontrar a Lagoa Azul; continue margeando a Lagoa Azul, mantendo-a sempre do seu lado direito até encontrar a Pedra Oval; inicie o contorne da Pedra Oval e, ao avistar à sua esquerda o Pântano, atravesse até ele e continue margeando o Pântano mantendo-o sempre do seu lado esquerdo até chegar a Arab.

Use o ponto onde os mercadores entraram em Arab para sair da cidade em direção a Tet; agora, mantenha sempre o Pântano à sua direita e vá contornando-o até avistar a Pedra Oval em frente; atravesse na direção da Pedra Oval e contorne-a, mantendo-a do seu lado direito até chegar à Lagoa Azul de novo; vá margeando a Lagoa Azul, mantendo-a à sua direita até chegar à cidade de Tet. A rota descrita encontra-se marcada na figura ao lado.

Atividade 2

Sistema de localização

Indique o trajeto que um turista que não conhece a cidade deve fazer para ir da estação do metrô Uruguaiana até a Igreja da Candelária (veja o mapa da Figura 27). O turista é capaz de ler nomes de ruas.

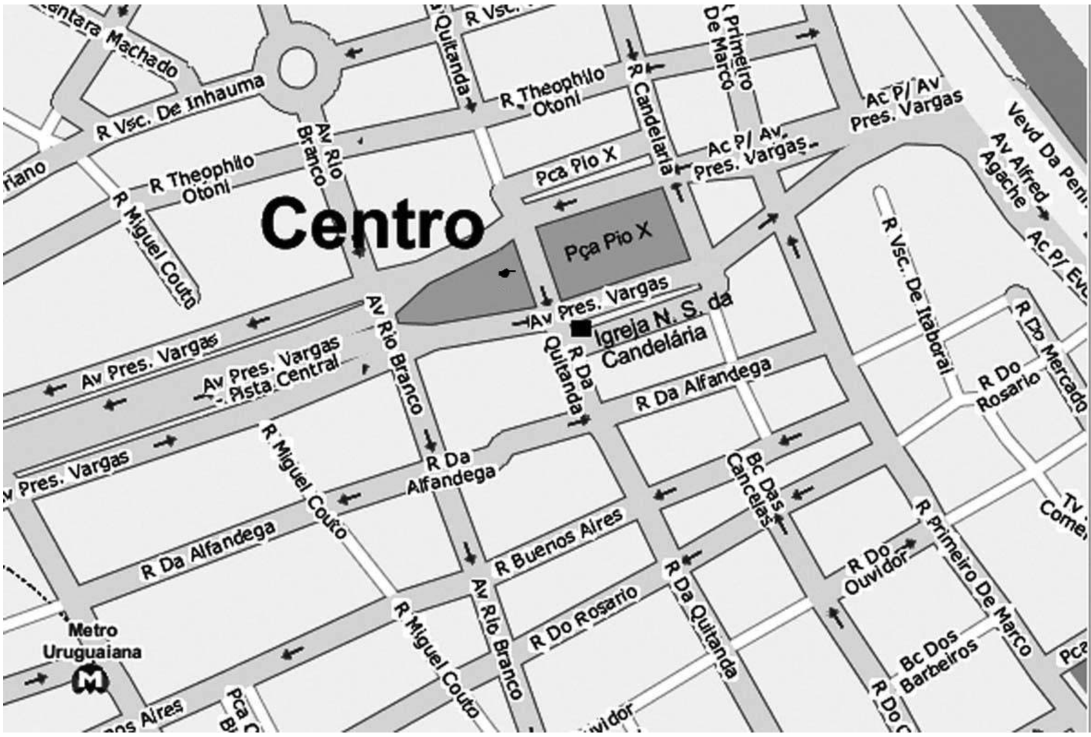


Figura 27

Resposta

Existem várias alternativas para se chegar desde a estação Uruguaiana do Metrô até a entrada da Igreja da Candelária, que está localizada na Praça Pio X (assinalada com um símbolo ☞).

Uma das alternativas seria: ao sair do metrô na rua Uruguaiana, o turista deve pegar à sua esquerda, caminhando até encontrar o cruzamento com a rua da Alfândega (indicada por uma placa na esquina); entrar na rua da Alfândega no trecho à sua direita; seguir pela rua da Alfândega atravessando os cruzamentos com as ruas Miguel Couto e avenida Rio Branco até encontrar o cruzamento com a rua da Quitanda, quando então deve dobrar à esquerda, seguindo a rua da Quitanda até encontrar a avenida Presidente Vargas; ele deve atravessar uma das pistas da avenida Presidente Vargas e em frente à Praça Pio X estará à porta da entrada da Igreja da Candelária.

Atividade 3

Sistema de orientação

Usando o mapa da **Figura 28**, em que cada quadrado representa a distância de um estádio (uma medida antiga igual a 185m), descreva a rota *mais curta* (e marque com um lápis no mapa para facilitar) que os mercadores de Acab devem percorrer para chegar até Arab e depois a Tet, usando o sistema de pontos cardeais para se orientarem. Os mercadores só podem caminhar nas direções N, NE, E, SE, S, SO, O, NO e sabem medir distâncias aproximadamente, e as rotas não podem atravessar obstáculos, tais como lagos, florestas, montanhas e pântanos. Para simplificação, considere que a diagonal de um quadrado tem aproximadamente a mesma distância do lado.

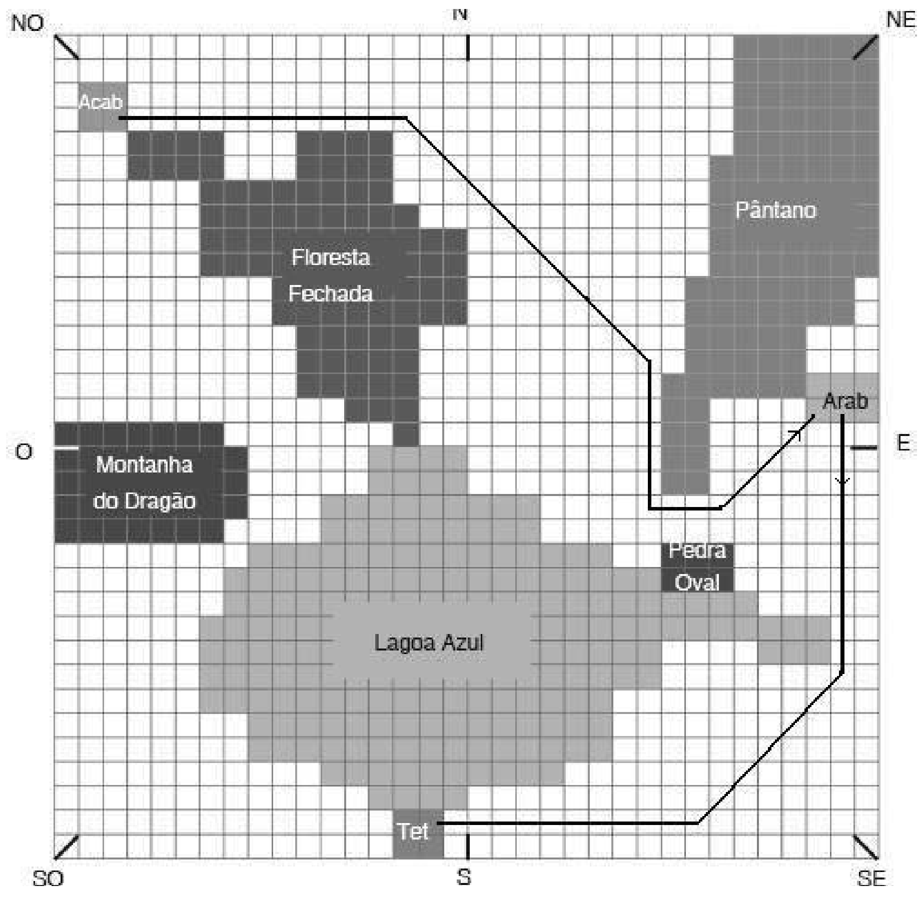


Figura 28

Resposta

Saia de Acab no sentido Leste e ande 12 estádios; neste ponto mude o sentido para Sudeste e ande 10 estádios; agora ande 6 estádios no sentido Sul e depois 3 estádios no sentido Leste e mais 4 estádios no sentido Nordeste, chegando a Arab. Neste trajeto, os mercadores andaram 35 estádios para ir de Acab a Arab.

No trajeto de Arab a Tet, os mercadores andarão 11 estádios no sentido Sul, mais 6 estádios no sentido Sudoeste e finalmente mais 11 estádios no sentido Oeste, perfazendo um total de 28 estádios. As rotas estão indicadas na figura.

Atividade 4

Sistema de coordenadas cartesianas

Usando o mapa da **Figura 29**, em que cada quadrado representa a distância de um estádio (uma medida antiga igual a 185m), descreva a rota que os mercadores de Acab devem percorrer para chegar até Arab e depois a Tet, usando o sistema de coordenadas cartesianas. Cada quadrado (o centro) é representado pelas coordenadas X e Y; o ponto de partida em Acab é o quadrado (3,31), e as rotas não podem atravessar obstáculos, tais como lagos, florestas, montanhas e pântanos. Na descrição, somente serão indicados os pontos inicial e final de cada direção. Os deslocamentos só ocorrem numa direção por vez. Exemplo: move-se do ponto (14,1) para o ponto (3,5), depois para o ponto (3,7) e assim por diante.

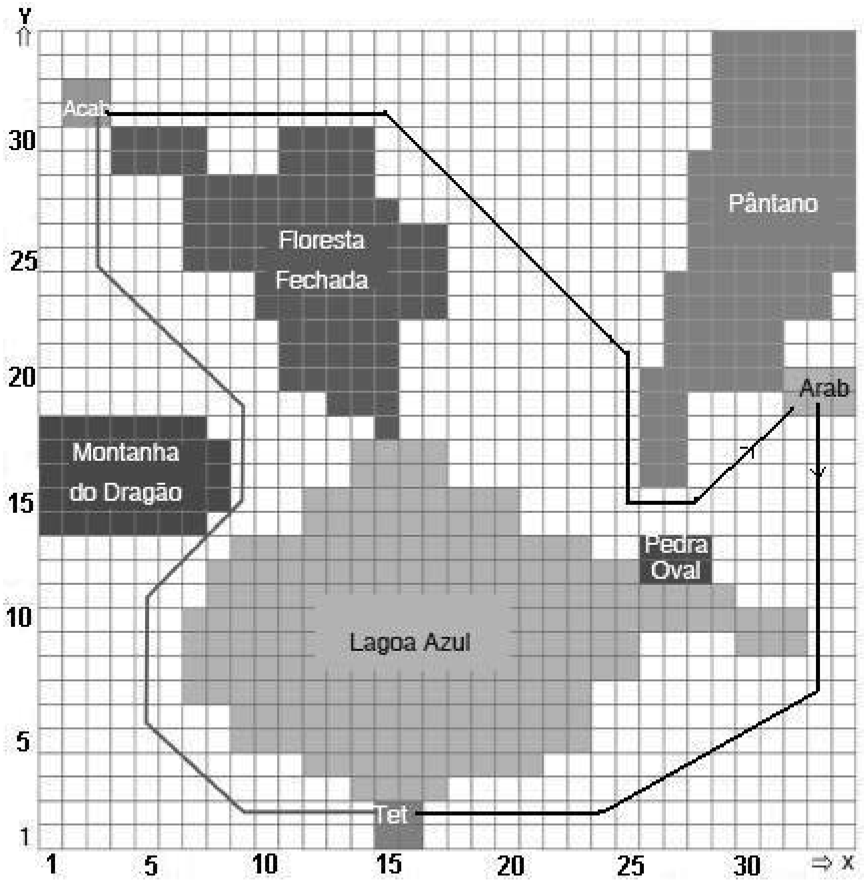


Figura 29

Resposta

Para ir de Acab até Arab, saindo do ponto (3,31) vai-se até o ponto (15,31), depois para o ponto (25,21), depois para o ponto (25,15), depois para o ponto (28,15), depois para o ponto (32,19). A rota de Arab para Tet, saindo do ponto inicial (33,19), passa pelos pontos (33,7), (24,2) e finalmente chega no ponto (16,2). Estas rotas estão assinaladas nas figuras e é apenas uma das possíveis rotas.

Atividade 5

Sistema de coordenadas esféricas

Examinando a carta estelar de uma região da constelação do Escorpião (**Figura 30**), onde os eixos na figura representam a Ascensão Reta (α) e a Declinação (δ) (S representa declinação ao Sul do equador celeste), responda às questões:

a) Qual é o valor aproximado das coordenadas equatoriais celestes da estrela B?

b) Qual das estrelas (A ou B) está mais próxima do pólo celeste sul?

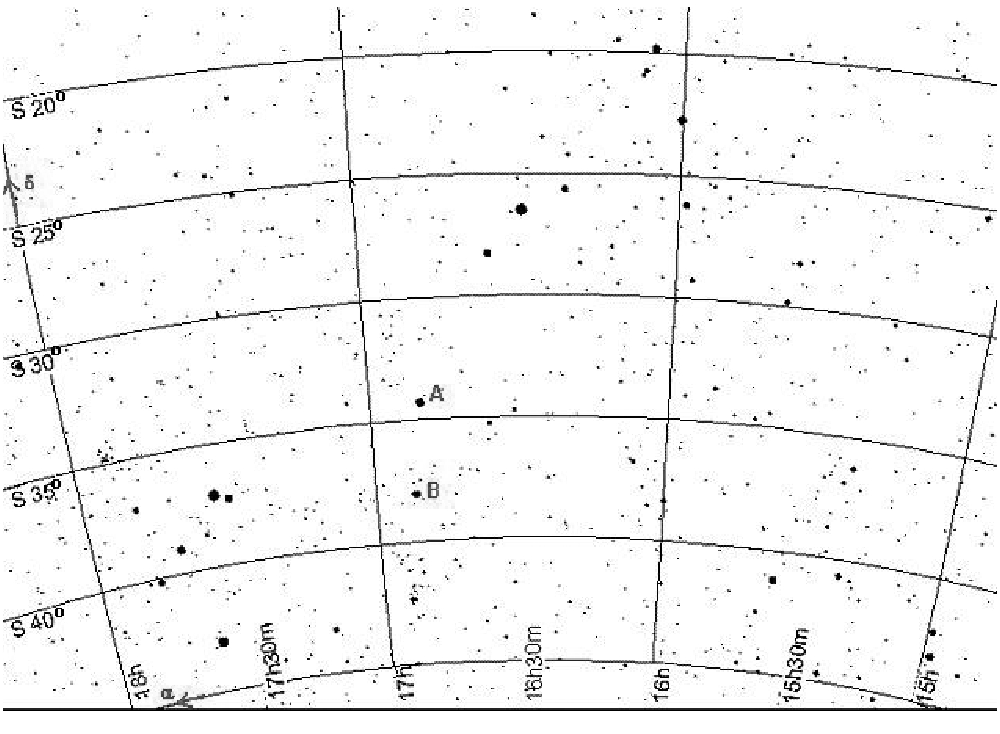


Figura 30

Resposta

a) O ponto B tem coordenadas equatoriais celestes aproximadas de:

α = 16h 50m; δ = - 38° ou 38° S

b) A estrela que estiver mais próxima do pólo celeste é a estrela com o módulo da declinação maior. Como a estrela A tem declinação aproximada de -34°, a estrela B estará mais próxima do pólo Sul celeste.

Aula 2 – Orientação no tempo

Exercício 1

Qual é a diferença entre um calendário lunar e um lunissolar?

Resposta

Tanto no calendário lunar quanto no calendário lunissolar a duração do ano é definida em função dos períodos sinódicos da Lua (lunações) cuja duração é de aproximadamente 29,5 dias solares. A diferença está em que no calendário lunar não existe a preocupação em fazer coincidir as datas das estações com os meses definidos pelo calendário, enquanto que no lunissolar se procura não deixar haver uma defasagem muito grande nas datas anuais das estações.

O ano no calendário lunar dura 12 lunações, isto é, 12 x 29,5 dias = 354 dias, com as durações dos meses se alternando entre 30 e 29 dias. Como a duração do ano das estações (chamado pelos astrônomos de ano trópico) é de 365,25 dias aproximadamente, existe uma defasagem de cerca de 11,25 dias a menos na contagem do ano lunar. Para clarear, vamos supor que coincidam o início do outono no calendário lunar e no calendário das estações no dia 20 de março do calendário lunar. No ano seguinte, haverá uma defasagem de ~11 dias, e o outono se iniciará no dia 1º de abril do calendário lunar; no outro ano, se iniciará no dia 12 de abril e assim por diante. Lembre-se de que no calendário lunar as durações dos meses se alternam entre 30 e 29 dias. Assim, janeiro tem 30 dias; fevereiro tem 29; março tem 30; abril tem 29 e assim por diante até dezembro que tem 29 dias. A cada 32,5 anos a diferença entre os dois calendários equivale a um ano, ou seja o calendário lunar avança 1 ano em relação ao calendário civil.

Para evitar esta defasagem crescente, os povos antigos, verificando a defasagem anual das estações, passaram a introduzir um mês de 30 dias periodicamente, no início meio aleatoriamente, mas depois segundo uma regra conhecida como **Ciclo de Meton** (introduzida na Grécia em ~432 a.C.). Pela regra de Meton, a cada 19 anos solares teriam que ser introduzidos 7 meses de 30 dias no calendário lunar. Para melhor entendimento, vamos examinar o exemplo. No primeiro ano, a defasagem entre os dois calendários atinge 11 dias; no segundo, 22 dias e no terceiro atingiria 33 dias, mas em virtude da aplicação do mês de 30 dias ela só será de 3 dias no início do quarto ano e no final será de 14 dias. Então tem-se sucessivamente 25, 6 (36-30), 17, 28, 9 (39-30) e assim por diante.

Exercício 2

De quantos em quantos anos você teria de corrigir de um dia a defasagem entre um calendário com duração média de 365,2400 dias e o ano astronômico? Você teria de subtrair ou somar 1 dia?

Resposta

Como a diferença entre o calendário escolhido e o ano astronômico (que tem duração de 365,2422 dias aproximadamente) seria de 0,0022 dias por ano do calendário, em cada ≈ 454,5 anos (= 1 / 0,0022) você teria de acrescentar um dia.

Exercício 3

De quantos graus os grupos de estrelas chamados de decanos teriam de estar afastados entre si para que sua passagem pelo meridiano dividisse a noite em 10 partes iguais?

Resposta

Supondo que a noite durasse 12 horas, o que equivaleria a um arco de 180 graus, seria necessário em espaçamento de 18° (= 180° / 10) entre cada decano, ou seja, a cada 72 minutos um decano cruzaria o meridiano local.

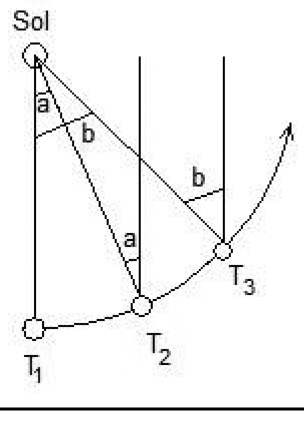
Exercício 4

Se a Terra girasse duas vezes mais rápido em torno do Sol, o que aconteceria com a diferença entre o dia sideral médio e o dia solar médio?

Resposta

Como já foi dito, se a Terra estivesse parada na órbita em relação ao Sol, o dia sideral (que considera as estrelas longínquas como ponto de referência) e o dia solar (que considera o Sol como ponto de referência) seriam iguais. Mas a Terra revoluciona em torno do Sol e, no período de 24 horas, percorre um arco médio de aproximadamente 0,985° (≈ 360° / 365,25 dias), o que implica a necessidade de a Terra girar 360° mais este ângulo de 0,985° para que o Sol esteja de novo no meridiano do lugar. O tempo necessário para que a Terra gire deste ângulo é de cerca de 3min e 56seg, que vem a ser a diferença entre o dia sideral e o dia solar (veja exemplo 6).

Se a Terra revolucionasse em torno do Sol duas vezes mais rápido, a duração do ano seria metade da atual, e o arco médio percorrido em 24 horas seria o dobro (1,970° ≈ 360° / 182,63). O tempo necessário para girar deste ângulo em torno do seu eixo seria também o dobro, isto é, cerca de 7min 52seg, que seria também a diferença entre o dia sideral e o dia solar.



Na figura, as posições da Terra na sua órbita em torno do Sol estão representadas em três instantes diferentes (T_1, T_2, T_3). Na posição T_2, a Terra andou de um ângulo a = 0,985° em relação à posição T_1 num intervalo de 24 horas com a velocidade média atual. Na posição T_3, a Terra andou de um ângulo de b = 1,970° num intervalo de 24 horas com o dobro da velocidade média atual. Pela geometria (os ângulos alternos-internos são iguais), sabe-se que os ângulos que a Terra percorreu em um dia na sua órbita serão iguais aos ângulos que ela deve girar em torno do seu eixo para ver o Sol no meridiano novamente (dia solar). Então a diferença entre o dia solar e o dia sideral será o dobro.

Pode-se chegar ao mesmo resultado usando o raciocínio empregado no exemplo 6, notando-se que o ângulo θS (= b na figura anterior) é fornecido agora pela equação

$$\theta_S = \omega_S t = \frac{360^0}{(365,25/2)} \cong 1,971^0/d$$

Então, da relação entre ângulos na figura 10 do exemplo tem-se que:

$$\theta_A = \theta_S = 360^0 \Rightarrow \frac{360^0}{t_{Sideral}} = \frac{360^0}{(365,25/2)} + 360^0$$

E, em 24h medidas pelo Sol, tem-se que o tempo sideral transcorrido será:

$$t_{Sideral} \approx 23h\ 52min\ 9seg$$

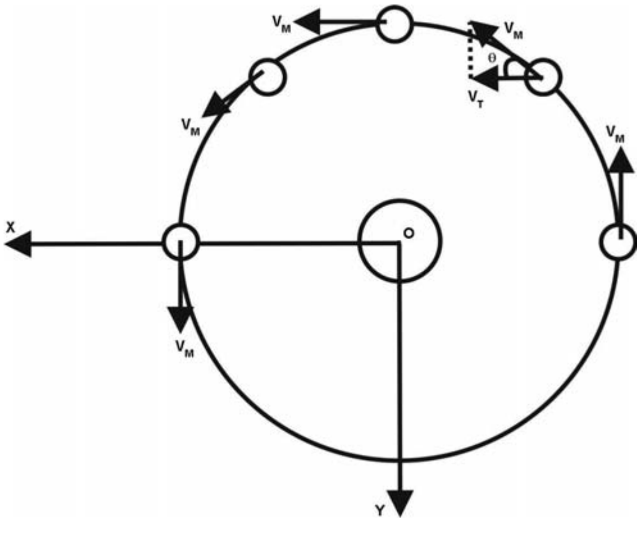
Logo, a diferença será

$$t_{Sol} - t_{Sideral} = 24h - 23h\ 52m\ 9s \approx 7min\ 51seg$$

Aula 3 – O espaço que nos cerca

Exercício 1

A velocidade transversal de Marte, admitindo uma órbita circular, irá variar entre que valores extremos?



Resposta

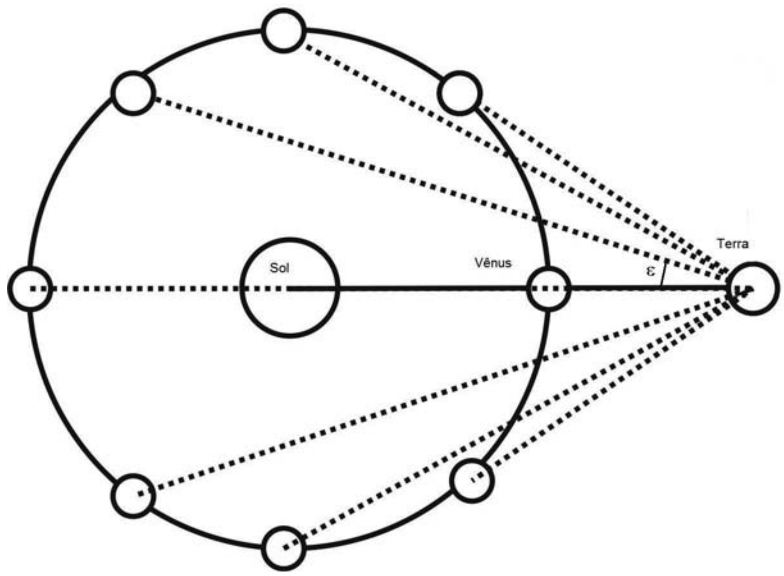
Admitindo uma órbita circular, a velocidade média de Marte na órbita é de V_M = 24, 1 km/s como já foi calculado no exemplo 1. Entretanto, a componente tangencial irá variar em função da sua posição na órbita em relação a uma dada orientação do eixo X (por exemplo, o eixo apresentado na Figura 4). A velocidade transversal (V_T) variará em função do cosseno do ângulo (θ) entre a direção do vetor velocidade de Marte no ponto e a direção do eixo X. Como θ varia entre 0° e 90°, a velocidade transversal variará entre V_T = 24,1.cos (0°) = 24,1 km/s e V_T = 24,1.cos (90°) = 0 km/s.

Exercício 2

É possível que a elongação de um planeta interior alcance o valor de 90º?

Resposta

A elongação é a separação angular entre o Sol e o planeta, quando vista por um observador situado na Terra (ângulo ε na figura). Para um planeta com órbita entre o Sol e a Terra (chamado de interior), este ângulo nunca poderá ser igual a 90°, o que implicaria um ponto exterior à órbita da Terra. Assim, para planetas com órbitas interiores nunca tem-se a fase da quadratura, porque é geometricamente impossível. A figura representa várias posições do planeta Vênus ao longo de sua órbita.

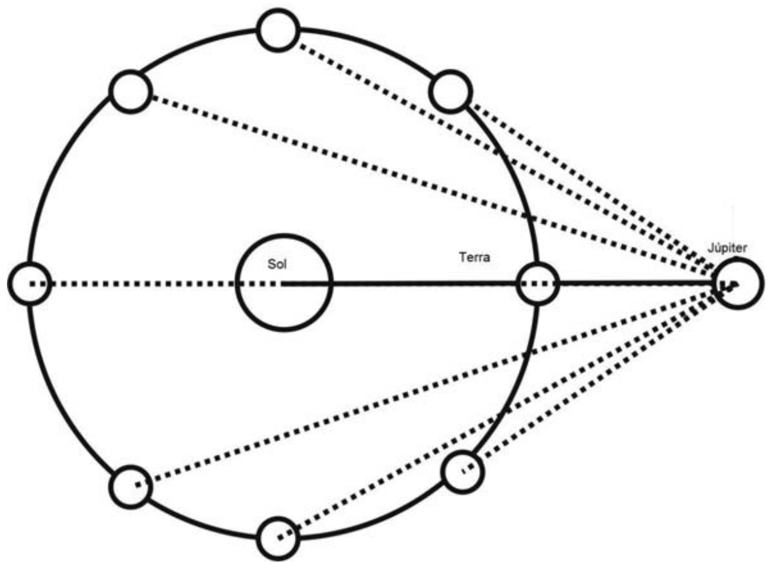


Exercício 3

Um observador situado em Júpiter (inclinação da órbita em relação à eclíptica de 1,3º) poderia ver todas as fases da Terra?

Resposta

No caso de um observador situado em Júpiter, a órbita da Terra seria a de um planeta interior e, assim, nunca poderiam ser observadas fases cujos ângulos de elongação estivessem próximo de 90° (Terra quarto crescente ou quarto minguante) e 180° (Terra cheia). A inclinação da órbita não afeta a porção visível do planeta.



Exercício 4

Obtenha a expressão anterior para os planetas interiores. Dica: use os instantes das conjunções em lugar das oposições.

Resposta

Suponha que os planetas descrevam **órbitas circulares** que estão todas no **mesmo plano da Eclíptica**. No instante t_1 a Terra está na posição T_1 e planeta interior (por exemplo, Vênus) está em conjunção superior na posição V_1 (vide figura ao lado). Na próxima conjunção superior, que ocorre no instante t_2, a Terra estará em T_2 e o planeta em V_2. Durante o intervalo de tempo $(t_2 - t_1)$ a Terra se moveu de um ângulo (ϕ), isto é, andou um ângulo ϕ, enquanto o planeta interior se moveu de um ângulo 2π mais ϕ. Então, durante o intervalo a Terra se moveu de um ângulo

$$\phi = (2\pi/TE)(t_2 - t_1)$$

e o planeta interior se moveu de um ângulo

$$2\pi + \phi = (2\pi/T_P)(t_2 - t_1)$$

Onde T_E e T_P são os **Períodos Siderais** da Terra e do Planeta, respectivamente, e (**$2\pi/T$**) é o movimento angular médio.

Sabemos que o intervalo $(t_2 - t_1)$ entre conjunções superiores é o **Período Sinódico** (**S**). Então

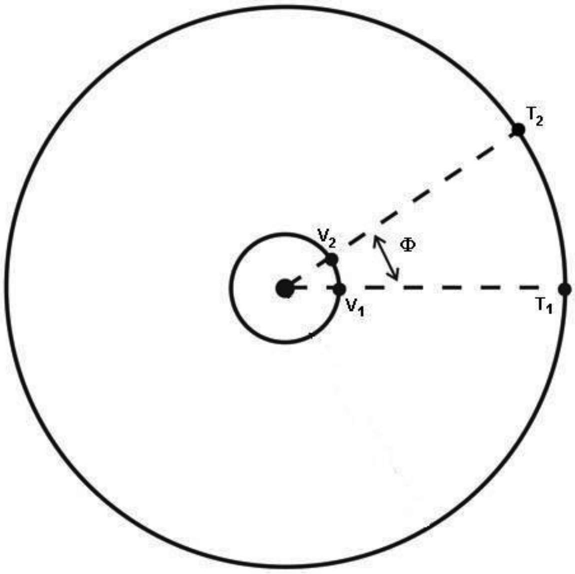
$\phi = (2\pi/T_E).S$ (1) e $2\pi + \phi = (2\pi/T_P).S$ (2)

e, substituindo o valor de ϕ dado em (1) na expressão (2) e rearrumando, vem:

$2\pi + (2\pi/T_E).S = (2\pi/T_P).S$

$(2\pi/S) + (2\pi/T_E) = (2\pi/T_P)$

$(2\pi/S) = (2\pi/T_P) - (2\pi/T_E)$



Exercício 5

Por que a Terra não apresenta um valor para o período sinódico na tabela?

Resposta

Recordando, o Período Sideral é uma quantidade relativa ao movimento heliocêntrico, isto é, o movimento de um planeta visto por um hipotético observador situado no Sol, enquanto o Período Sinódico de um planeta é uma quantidade relativa ao movimento geocêntrico, isto é, o movimento do planeta visto por um observador situado no planeta Terra. Ora, não se pode determinar o movimento da Terra estando nela, seria preciso estar em outro planeta. Assim, o Período Sinódico só pode ser determinado para corpos celestes que sejam vistos da Terra.

Exercício 6

Calcule o valor da quantidade de energia recebida do Sol, no topo da atmosfera da Terra, nos instantes do periélio e do afélio.

Resposta

A Insolação (I_T) recebida no topo de nossa atmosfera, isto é, a quantidade de energia solar que alcança o topo da atmosfera da Terra, por unidade de área, por unidade de tempo é dada pela expressão:

$$I_T = \frac{L_\Theta}{4\pi D^2}$$

Onde $L_{\odot}$ é a luminosidade do Sol (que é considerada constante e igual a 3,86 x 10^{26} W) e D é a distância Terra-Sol (fornecida em metros) no instante desejado. Assim, no periélio o Sol está a 147.100.000 km, e a energia recebida é igual a

$$I_{\text{periélio}} = (3{,}86 \times 10^{26}) / (4\pi.(1{,}471 \times 10^{11})^2) \cong 1420 \text{ W/m}^2$$

No afélio o Sol está a 152.100.000 km, e a energia recebida é igual a

$$I_{\text{afélio}} = (3{,}86 \times 10^{26}) / (4\pi.(1{,}521 \times 10^{11})^2) \cong 1328 \text{ W/m}^2$$

Exercício 7

Foi descoberto um asteróide cujo período sideral determinado foi de 366,5 dias. Calcule a sua distância média ao Sol, supondo uma órbita circular, e encontre o seu período sinódico.

Resposta

Primeiro temos de usar a 3ª Lei de Kepler, para saber se o corpo possui uma órbita interna ou externa à órbita da Terra. A relação entre as distâncias médias dos planetas (a) ao Sol e os seus períodos siderais (P) é dada por

$$(P_T^{\,2} / a_T^{\,3}) = k = (P_A^{\,2} / a_A^{\,3})$$

onde, para Terra temos a_T = 1 ua, P_T= 365,25 dias e para o asteróide aA= ? e PA= 366,5 dias. Logo, usando a fórmula dada temos que a sua distância média à Terra seria

$$\mathbf{a_A} = [(366{,}5^2/365{,}25^2)]^{1/3} = \mathbf{1{,}002\ ua}$$

e o seu período sinódico que seria medido por um observador é dado pela fórmula para corpos exteriores à órbita da Terra.

$$\left(\frac{1}{S}\right) = \left(\frac{1}{P_T}\right) - \left(\frac{1}{P_A}\right)$$

Então o seu período sinódico será **S = 107091 dias.**

Exercício 8

Considerando que a Via Láctea é um corpo rígido que dá uma volta completa em 250 milhões de anos e que o Sol se encontra a 30.000 anos-luz do centro, qual seria o perímetro percorrido pelo Sol numa rotação? Qual seria a sua velocidade espacial? Qual seria a área ocupada pela Via Láctea?

Resposta

O perímetro percorrido é dado por Per = 2πR, onde R é a distância do Sol ao centro da Galáxia (30.000 anos-luz). Logo,

$$\mathbf{Per = 2\pi.30.000 = 188.496\ anos\text{-}luz}$$

A sua velocidade espacial será V = Per/ T , onde T é o período em que o Sol dará uma volta completa em torno do centro da Galáxia. Então

V = 188 496 / 250.000 000 = $7{,}5^4 \times 10^{-4}$ anos-luz/ano = $2{,}313 \times 10^{-4}$ parsecs/ano = **47,7 ua/ano**

A área de um círculo de raio R será $A = \pi R^2$. Logo a área será

$A = \pi.(30\ 000)^2 =$ **$2{,}83 \times 10^9$ anos-luz ao quadrado**

Atividade 2

O futebol dos planetas

Com os valores fornecidos pela 3ª Lei de Kepler para as distâncias médias dos planetas ao Sol, distribua as órbitas dos planetas no campo de futebol com as dimensões assinaladas na figura, de tal modo que o Sol esteja colocado no centro do campo e a órbita do planeta mais afastado ainda se encontre completamente dentro do campo. a) Quais planetas teriam as suas órbitas dentro do círculo central? b) Para que a órbita de Netuno passasse pela marca do pênalti, quais seriam os valores dos raios das órbitas dos outros planetas?

Resposta

A distância do centro do campo até o gol é de 55 metros, que deve corresponder à distância do Sol até o planeta mais afastado que é Netuno, que está a 30,06 ua. Logo, para saber a que distância do centro estarão os outros planetas no campo, basta armar a proporção para cada planeta:

55 m (Sol - Netuno): 30,06 ua (Sol - Netuno)

X (Sol – Planeta): Y (Sol - Planeta)

Onde X em metros é a distância que se quer conhecer e Y é a distância em unidades astronômicas fornecida pela 3ª Lei de Kepler. Assim, tem-se:

Mercúrio: Y = 0,387 ua => X = 0,71 m

Vênus: Y = 0,723 ua => X = 1,32 m

Terra: Y = 1,000 ua => X = 1,83 m

Marte: Y = 1,524 ua => X = 2,79 m

Júpiter: Y = 5,203 ua => X = 9,52 m

Saturno: Y = 9,539 ua => X = 17,45 m

Urano: Y = 19,19 ua => X = 35,11 m

Netuno: Y = 30,06 ua => X = 55,00 m

a) Os planetas que estariam no círculo central seriam aqueles afastados até 9,15 m. Neste caso estão incluídos Mercúrio, Vênus, Terra e Marte.

b) A marca do pênalti está afastada 44 m (55 – 11) do ponto central do campo. Para os novos cálculos, a proporção seria:

44 m (Sol - Netuno): 30,06 ua (Sol - Netuno)

X (Sol – Planeta): Y (Sol - Planeta)

E os resultados seriam

Mercúrio: Y = 0,387 ua => X = 0,57 m

Vênus: Y = 0,723 ua => X = 1,06 m

Terra: Y = 1,000 ua => X = 1,46 m

Marte: Y = 1,524 ua => X = 2,23 m

Júpiter: Y = 5,203 ua => X = 7,62 m

Saturno: Y = 9,539 ua => X = 13,96 m

Urano: Y = 19,19 ua => X = 28,09 m

Netuno: Y = 30,06 ua => X = 44,00 m

Referências bibliográficas

BOCZKO, R., 1990. *Conceitos de Astronomia*. São Paulo: Ed. Edgar Blucher, 1990.

MOGI Vicentini: grafica 3D e video...: materiale video da scaricare: si prega di leggere con attenzione!. Disponível em: <http://www.mogi-vice.com/Pagine/Scaricamento.html>. Acesso em: 23 set. 2008.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. *Astronomia e Astrofísica*. Diponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/>. Acesso em: 23 set. 2008.

______________. *Astronomia e Astrofísica*. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

ISBN 978-85-7648-556-8

9 788576 485568

UENF
Universidade Estadual
do Norte Fluminense

UERJ
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Universidade Federal Fluminense
uff

Universidade do Brasil

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

UNIRIO

FAPERJ
Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro

GOVERNO DO
Rio de Janeiro
SECRETARIA DE
CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Ministério
da Educação

BRASIL
UM PAÍS DE TODOS
GOVERNO FEDERAL