

---

## CAPÍTULO



# OLHANDO PARA O CÉU

## A ABÓBADA CELESTE

Você já olhou para o céu em uma noite estrelada e sem lua? Se não o fez, deve fazê-lo, pois isso lhe valerá muito mais que todas as definições que aqui possam ser dadas a esse respeito.

Você terá a nítida impressão de estar no centro de uma imensa esfera escura, crivada de estrelas em sua face interna. Não é à toa que os antigos povos pensavam estar realmente no centro dessa esfera, idéia que permanece até hoje nas mentes da grande maioria das pessoas. Mas, para os antigos, além dessa bola estavam as coisas divinas.

Há alguns séculos o homem percebeu que isso era apenas produto de sua imaginação. O homem medianamente instruído de nossos dias sabe que não existe uma esfera celeste, nesse sentido.

Hoje sabemos que a imensidão do espaço é povoada por uma infindável multidão de corpos celestes (estrelas, com seus planetas e talvez satélites, nebulosas e outras galáxias). Esses objetos celestes podem estar tão distantes que a sua luz, para chegar até nós neste instante, esteve viajando desde tempos em que o homem não tinha a forma atual. E lembre-se de que a luz tem uma velocidade (no vácuo) de 300 000 km/s. Isso quer dizer que em cada segundo a luz caminha 300 000 km, o que equivale a mais de sete voltas ao redor da Terra em apenas um segundo.

Essas grandes distâncias que nos separam das estrelas fazem com que elas, mesmo se movendo, pareçam fixas. Daí o nome de *esfera*

*celeste*, ou *esfera das “estrelas fixas”*. Você pode verificar o que estamos dizendo. Procure olhar para o céu e localizar algumas constelações. Durante o verão, você pode reconhecer facilmente a grande constelação de Órion, que está sobre o Equador celeste; durante o inverno, você pode localizar a grande constelação de Escorpião.

A primeira tem a forma de um grande quadrilátero com as Três Marias quase em direção de uma diagonal. O Escorpião lembra um grande ponto de interrogação. Para localizar as constelações, use o *planisfério*, ou mapa do céu.

Depois de algumas observações, você verá que as estrelas e as constelações mantêm exatamente as mesmas posições relativas. Isso quer dizer que as estrelas e as constelações nascem e se põem, mas sem alterar as configurações formadas. Tudo se passa como se elas estivessem incrustadas na face interna de uma grande esfera, que gira com o passar das horas, como você pode facilmente notar. No intervalo de um dia, ela dá uma volta completa (um dia sideral).

## MEDINDO DIREÇÕES

Embora a esfera celeste seja uma entidade puramente geométrica e abstrata, seu estudo é muito interessante e útil.

Todo o estudo que envolve a esfera celeste com suas aplicações pode ser resumido sob o nome de *Astronomia de posição*, ou *Astrometria*. Nesse caso, a esfera celeste faz o papel de paisagem de fundo. Entre outras, aqui estão algumas das aplicações do estudo da esfera celeste:

- 1) Determinação de todos os movimentos da Terra.
- 2) Determinação das coordenadas de cada lugar e, portanto, levantamento dos mapas terrestres.
- 3) Medida do tempo: em quase todos os países existem observatórios que fazem o serviço da hora, que consiste basicamente em aferir o andamento dos relógios pela passagem de determinadas estrelas em frente a um telescópio especial. Esse equipamento é geralmente conhecido como *luneta meridiana*: move-se sem sair do meridiano astronômico do lugar.
- 4) Determinação da posição ou orientação dos navegantes. Quando o homem se tornou capaz de fazer observações astronômicas mais precisas, pôde também orientar-se em alto mar. Daí a possibilidade das grandes navegações dos portugueses e espanhóis no século XV.

- 5) Determinação das posições dos planetas e, a partir delas, de suas órbitas.
- 6) Determinação das distâncias das estrelas mais próximas. Estas sofrem pequeníssimos deslocamentos anuais aparentes (*paralaxe*) em relação às mais distantes.

Essas são apenas algumas das principais aplicações do estudo da esfera celeste.

Não é interessante que você possa saber, sem sair do lugar, em que ponto da Terra você se encontra? Ou que você possa determinar a hora local ou universal (só para a Terra) olhando para o mostrador do grande relógio celeste que gira à sua frente, nas noites estreladas?

## **ATIVIDADE 2.1**

### **O GNÔMON**

Esse é o nome de um dispositivo já usado na antiga Grécia e que os romanos adotaram. Com ele os povos antigos marcavam as horas do dia, desde que houvesse sol.

Consiste basicamente em uma haste vertical espetada em uma superfície horizontal e lisa. Você pode improvisar um espetando qualquer haste em um chão bem horizontal e liso. A haste, bem reta, deve ser fincada bem "em pé", o que é fácil com a ajuda de um fio de prumo (barbante e pedrinha). O gnômon é utilizado para marcar as horas do dia. Mas, nesta atividade você vai usá-lo primeiro para outra coisa: determinar os pontos cardeais do lugar e também o meridiano astronômico do lugar (MAL).

Você deve montar o seu aparelho em lugar de céu aberto, isto é, num lugar em que a luz do Sol projete a sombra da varinha pela manhã e à tarde (fig. 2.1).

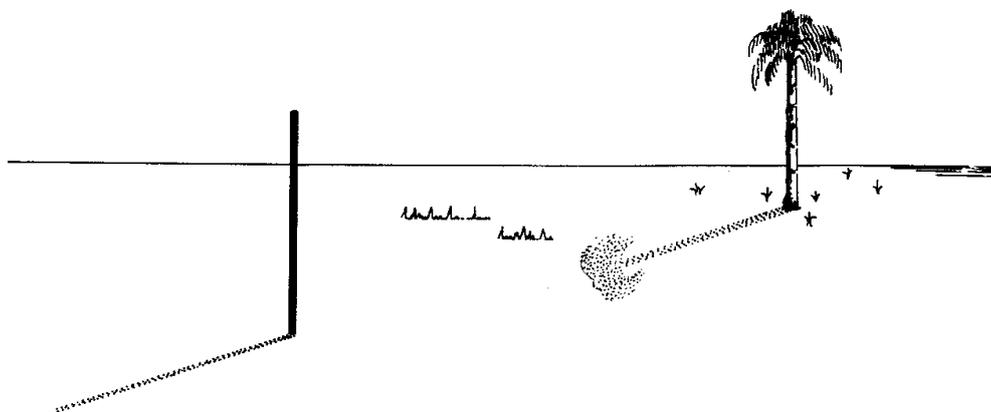


Fig. 2.1

De manhã, logo depois da saída do Sol, as sombras da haste são muito compridas. Com o passar das horas a sombra vai encurtando e, ao meio-dia solar, ela é mínima. Depois disso, ela vai novamente aumentando, até o cair da tarde.

Marque alguns pontos extremos da sombra da varinha durante a manhã.

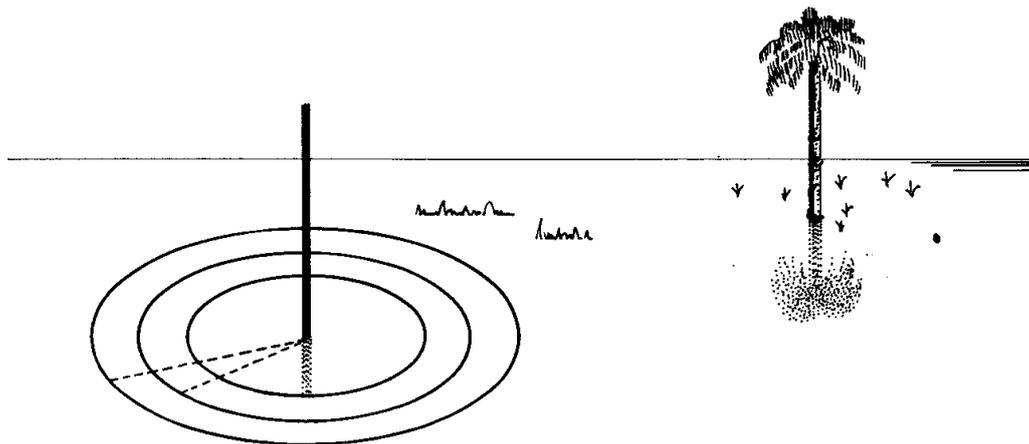


Fig. 2.2

Em cada caso, assinale o ponto e, em seguida, trace sobre o chão uma circunferência centrada no pé da haste e com raio igual ao comprimento da sombra (fig. 2.2), o que pode ser feito com o uso de um barbante amarrado ao pé da haste. Procure fazer pelo menos duas ou três observações pela manhã. Durante a tarde, a sombra irá atingir cada uma das circunferências novamente. Assinale, então, os pontos em que a sombra volta a tocar cada circunferência (você deve fazer à tarde tantas observações quantas fez pela manhã).

Agora, você dispõe de pares de raios de diferentes circunferências. Cada par de raios compreende um certo ângulo. Esses ângulos são diferentes para os diferentes pares (fig. 2.3).

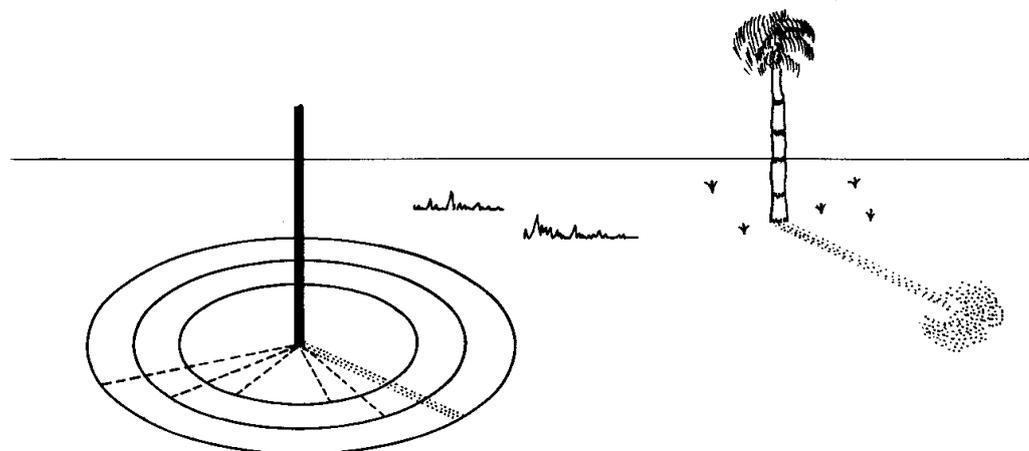


Fig. 2.3

Determine o raio bissetor, ou simplesmente a bissetriz do ângulo de cada par.

Você percebeu que todos esses ângulos têm a mesma bissetriz? Essa bissetriz comum recebe o nome de *linha meridiana* (fig. 2.4). Ela indica a direção norte-sul. A direção perpendicular a essa é fácil de determinar: a leste-oeste.

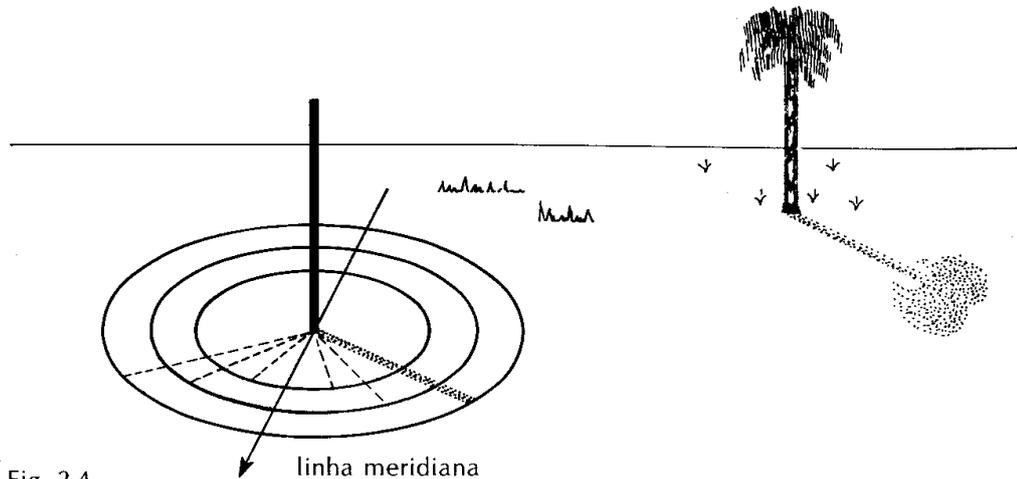


Fig. 2.4

Se você quiser deixar marcada a linha meridiana, crave sobre ela, no chão, uns pregos ou piquetes de madeira, ou qualquer outra coisa que seja permanente.

Mas, não teria sido mais simples assinalar essas direções com a bússola? Sim, seria mais fácil. Porém, o norte-sul astronômico raras vezes coincide com o norte-sul magnético. Essa diferença entre a direção do norte verdadeiro (astronômico) e a do norte magnético é chamada *declinação magnética do lugar*. A direção norte-sul magnética é imprecisa e está sujeita a grandes desvios. Você pode perceber, por exemplo, que, se colocar um pequeno ímã perto da bússola, ela alterará sua direção.

Vamos, agora, ver o que é o meridiano astronômico do lugar (MAL).

**MAL** é o plano vertical que passa pela linha meridiana. Se você quiser assinalar também o **MAL**, use dois fios de prumo que fiquem sobre dois pontos da linha meridiana.

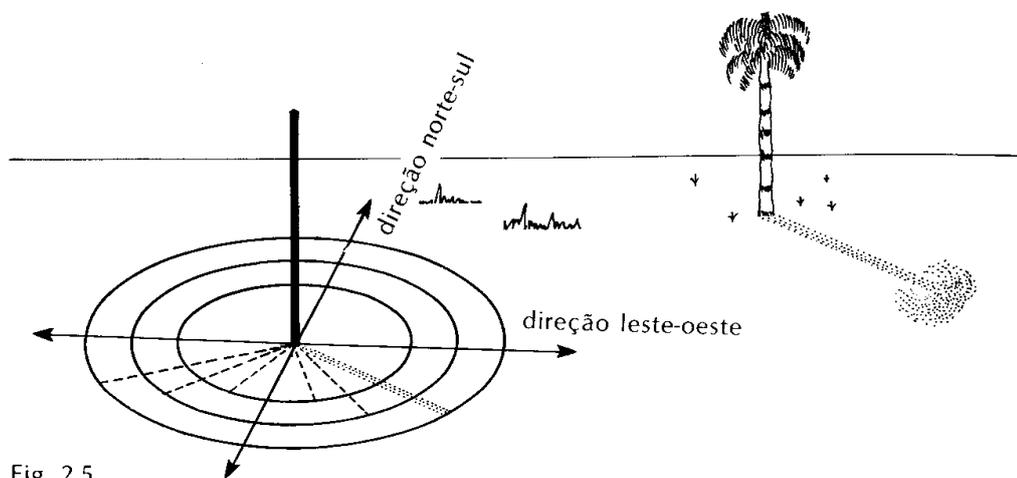


Fig. 2.5

Esse plano que você acaba de determinar é fundamental para medidas em Astronomia.

Nos observatórios existe um telescópio (ou uma luneta) instalado na direção que você acaba de determinar. Esse aparelho se move sem sair daquele plano vertical. Isso significa que está fixo no **MAL**. No caso das horas, o **MAL** funciona como um grande ponteiro fixo (para nós, na Terra), diante do qual gira o grande mostrador esférico, o céu.

## UMA GEOMETRIA PARA O CÉU

Anteriormente, citamos uma série de aplicações que resultam do estudo da esfera celeste. Entretanto, para realizar esse estudo é preciso considerar uma série de elementos geométricos: as referências sobre a esfera celeste.

Para que você não tenha que decorar, daremos aqui apenas os principais e mais imediatos. Se você estiver interessado, mais adiante veremos alguns outros.

Como já dissemos, a esfera celeste gira de leste para oeste, mantendo as posições relativas das estrelas; é como se você estivesse no centro de uma bola que gira e que tem as estrelas incrustadas em sua superfície interna.

Você logo vai perceber que as estrelas (pontos fixos na esfera celeste) descrevem arcos de circunferência de raios diferentes. E também que há um ponto que não se move. Esse ponto é um dos pólos celestes (pólo sul celeste, para quem está no hemisfério sul da Terra). No pólo sul celeste não há nenhuma estrela visível a olho nu. Bem próximo ao pólo norte celeste encontra-se uma estrela muito brilhante: a *Polaris* (*estrela do pólo*). Do hemisfério sul não é possível ver essa estrela.

Em resumo, enquanto a esfera celeste gira no seu movimento diurno aparente, dois pontos permanecem fixos: os pólos celestes sul e norte, que são diametralmente opostos.

A reta imaginária que une esses dois pontos é chamada *eixo do mundo*. Como o movimento aparente da esfera celeste resulta do movimento real da Terra em sentido contrário, o eixo do mundo não é nada mais que o prolongamento do eixo da Terra. Os pólos celestes são as projeções dos pólos terrestres sobre a esfera do céu. O mesmo ocorre com o *equador celeste* e os *paralelos celestes*: estes nada mais são do que as projeções do Equador e dos paralelos terrestres sobre a esfera celeste.

Você vai, em seguida, preparar um modelo de esfera celeste, que facilitará seu trabalho e entendimento.

Pegue um balão de vidro de fundo esférico, como o da fig. 2.6 (muito usado em Química), e marque um dos pólos celestes.

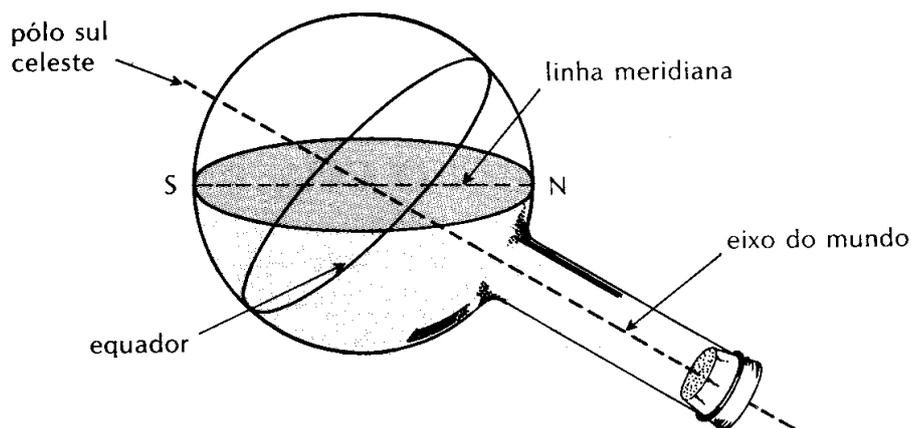


Fig. 2.6

Procure centrar o pólo através do pescoço ou gargalo do balão. Para marcar esse ponto você pode usar um lápis especial ou um batom. Depois, marque o equador, do seguinte modo: passe uma fita de papel (serpentina) ou barbante ao redor do maior diâmetro do balão; dobre esse comprimento em quatro partes e marque essa distância a partir do pólo; depois de marcar os pontos, você pode uni-los: isto é o equador celeste.

Agora você vai marcar a *eclítica*. Ela é também um círculo máximo (como o equador), porém inclinado de  $23^{\circ}30'$  em relação àquele (fig. 2.7).

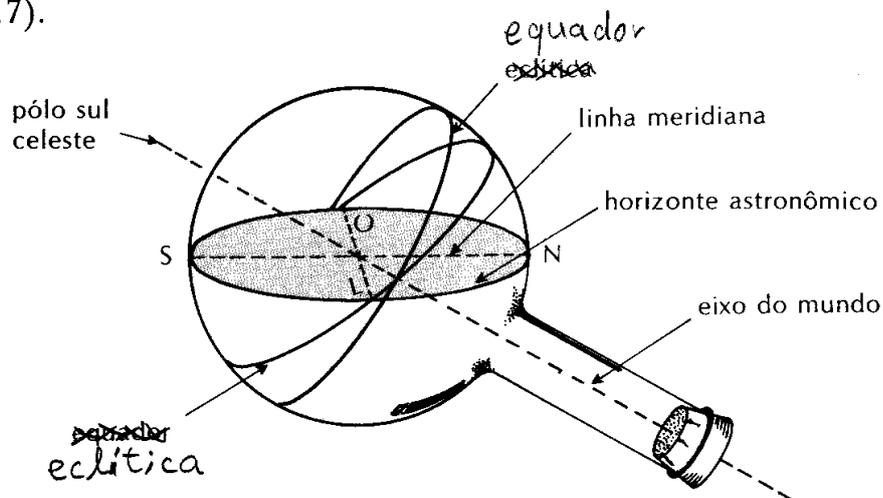


Fig. 2.7

Para isso, basta se lembrar de que, em uma circunferência, os arcos são proporcionais aos ângulos.

Talvez você já saiba que a eclíptica é o caminho aparente do Sol pela esfera celeste no decorrer do ano.

Os pontos em que a eclíptica e o equador se encontram são chamados *pontos equinociais* ou *equinócios*. O ponto em que o Sol passa do hemisfério sul para o hemisfério norte é chamado *equinócio de primavera*, ou ponto  $\gamma$  (*gama*). O outro, diametralmente oposto ao primeiro, chama-se *equinócio de outono*, ou ponto  $\Omega$  (*ômega*). O primeiro deles é o ponto de partida para a contagem de ângulos quando queremos determinar as posições de planetas ou estrelas no céu. Os pontos da eclíptica que estão mais afastados do equador chamam-se *solstícios* (de verão e de inverno). São os pontos em que o Sol está, respectivamente, mais para o sul e mais para o norte.

Depois de marcadas essas principais referências, coloque água no seu balão até que atinja o equador, estando o balão colocado verticalmente e com o pescoço para baixo. O nível da água representa o plano do horizonte astronômico enquanto você gira a esfera celeste.

Você deve se imaginar no centro da superfície da água, como se estivesse no oceano e visse o céu limitado pelo horizonte ao seu redor. Neste modelo de céu, você está sempre no centro do “horizonte”, isto é, no centro da superfície da água, que é também o centro da esfera celeste.



Curso de treinamento para professores de Física no Colégio Estadual de Teresópolis (RJ), com o uso do “planetário de pobre”.

## **ATIVIDADE 2.2**

### **O MOVIMENTO DIURNO APARENTE DAS ESTRELAS**

Agora, que você já tem montada sua esfera celeste, você pode simular com ela os movimentos do céu.

Para maior facilidade, procure um meio ou dispositivo com o qual você possa girar o balão, mantendo fixa a direção do eixo. Pode ser algum tipo de suporte usado nos laboratórios de Química ou um tripé.

Você já deve ter olhado para o céu em noite estrelada (se não, olhe na primeira oportunidade) e visto um grande número de estrelas, espalhadas por todo o céu.

Marque sobre sua esfera celeste uma série de "estrelas". Distribua essas estrelas (pontos com o lápis ou batom) por toda a superfície do balão. Não importa se os pontos correspondem a estrelas reais. O céu tem tantas estrelas que em qualquer ponto em que você faça uma mancha haverá uma estrela.

Agora, faça girar o balão ao redor do eixo do mundo, isto é, ao redor do eixo do balão (direção do gargalo), tendo o cuidado de manter fixa a direção desse eixo (fig. 2.8). A inclinação do eixo em relação ao horizonte deve ser igual à latitude geográfica do lugar em que você está (se você não souber, consulte qualquer mapa). Assim, você está simulando o movimento diurno aparente do céu no lugar onde mora ou em qualquer outro lugar cujo céu você queira representar.

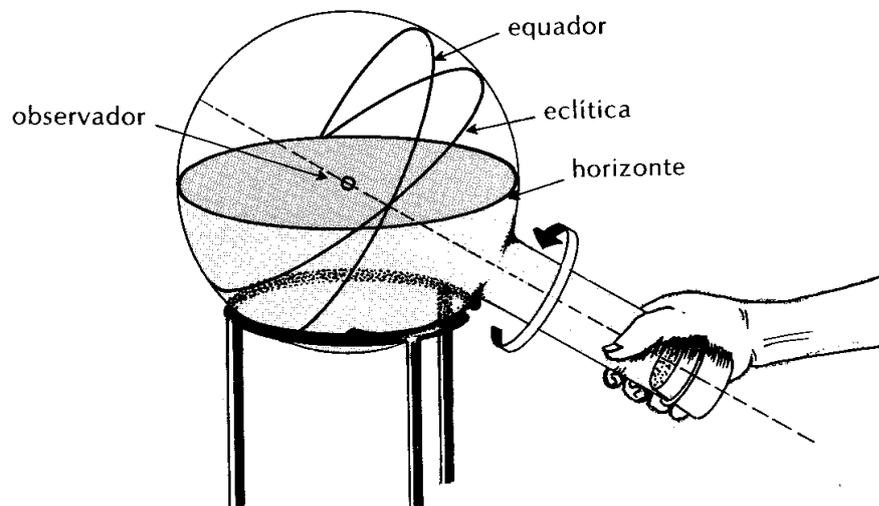


Fig. 2.8

Observe atentamente o movimento de rotação de sua esfera celeste e responda:

- 1) Enquanto o céu gira, as estrelas mantêm suas posições relativas?
- 2) As estrelas levam todas o mesmo tempo desde o nascer (aparecer no horizonte) até o ocaso (desaparecer no horizonte)?
- 3) Compare os arcos diários descritos por duas estrelas. São eles iguais?
- 4) Todas as estrelas são visíveis do lugar em que você está (não considerando a luz do Sol)?

- 5) Existem estrelas que estão sempre visíveis, isto é, sempre acima do horizonte enquanto o céu gira? *Exatamente*
- 6) Em que lugar deve estar um observador para que possa ver todas as estrelas enquanto o céu gira?
- 7) Há algum lugar em que o observador não vê nem o nascimento nem o ocaso das estrelas? Qual?
- 8) Que região do céu esse observador tem sempre visível (um hemisfério, ou mais, ou menos que um hemisfério)?
- 9) Há, para esse observador, estrelas que nunca são visíveis? De que região do céu?

## MARCANDO LUGARES NO CÉU

Você já reparou como são localizados os pontos sobre a superfície da Terra? Qualquer lugar fica determinado por um par de números: as suas coordenadas.

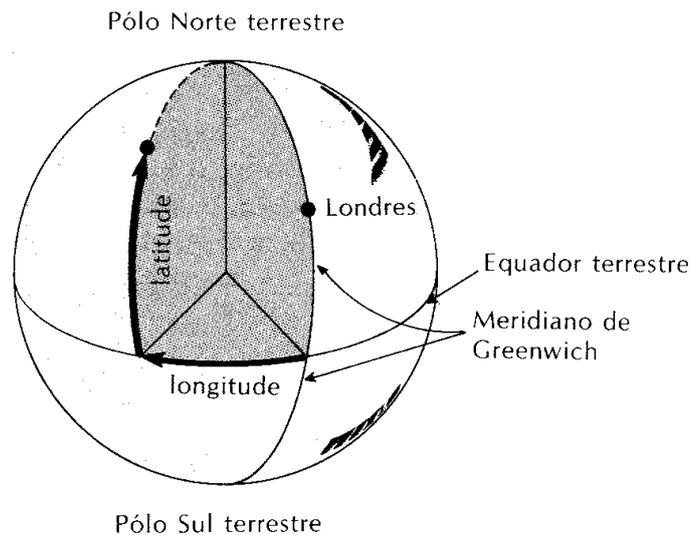


Fig. 2.9

Sempre que queremos localizar algum ponto sobre qualquer esfera, devemos usar um par de coordenadas.

Essas coordenadas podem ser dadas em distâncias ou, mais comumente, em ângulos. No caso de pontos sobre a Terra, elas se chamam *latitude* e *longitude* terrestres. Essas coordenadas são contadas a partir de planos, chamados planos fundamentais, que geralmente são perpendiculares entre si. Na Terra, os planos fundamentais são o Equador terrestre e o meridiano que passa pelo observatório de Greenwich, perto de Londres.

No caso de pontos celestes, o processo é semelhante. Apenas os planos fundamentais são outros. As coordenadas também têm no-

mes especiais. Na Astronomia não se usa sempre um só sistema; em diferentes aplicações são empregados sistemas diferentes. Cada um deles (são cinco) é mais cômodo para cada caso.

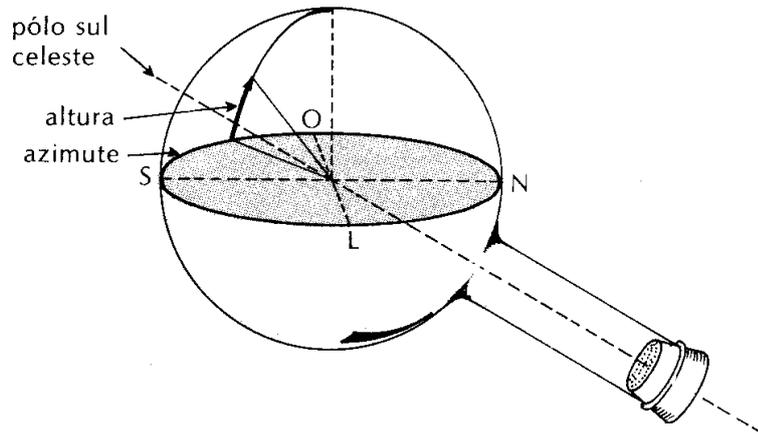


Fig. 2.10

O primeiro dos sistemas chama-se *horizontal* ou *local*. Seus planos fundamentais são o do horizonte e o **MAL** (meridiano astronômico do lugar). Suas coordenadas são o *azimute* e a *altura*. O *azimute* é contado a partir do ponto sul sobre o horizonte, ou seja, é um ângulo no plano do horizonte. A *altura* é o ângulo contado verticalmente do horizonte até o ponto (fig. 2.11). Todos os pontos que estão sobre o plano do horizonte têm  $0^\circ$  de *altura*. Assim, todos os astros, ao nascerem e ao desaparecerem, têm  $0^\circ$  de *altura*. O *zênite* (ponto exatamente sobre nossas cabeças) tem  $90^\circ$  de *altura*.

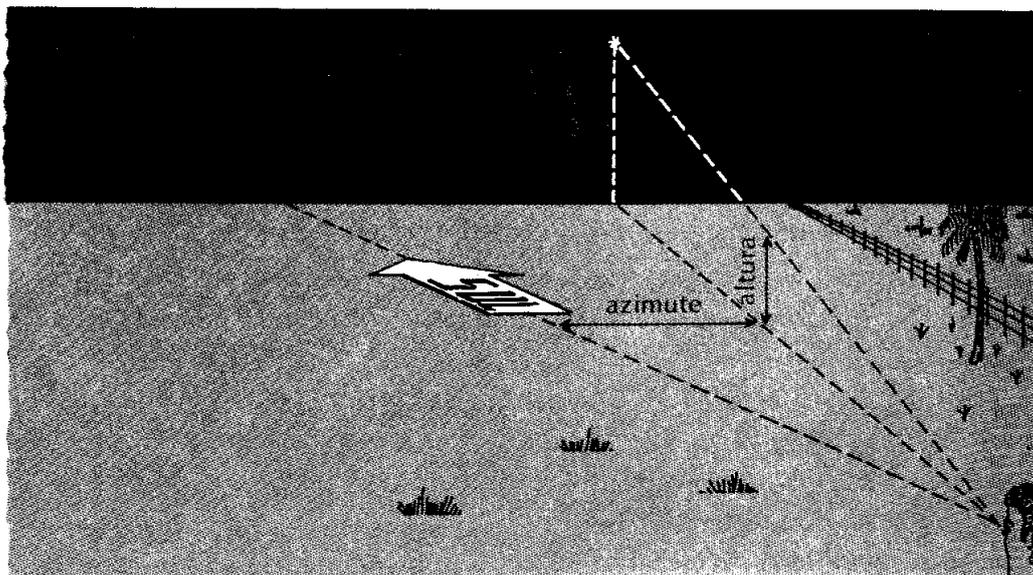


Fig. 2.11

Você já dispõe de um meio para localizar um ponto no céu. Isso vale para o lugar e o tempo em que você está.

Você pode, por exemplo, descrever os pontos percorridos pelo Sol durante o dia.

### ATIVIDADE 2.3 POSIÇÕES DO SOL DURANTE UM DIA

Vamos medir a *altura* e o *azimute* do Sol no decorrer de um dia.

Você pode ler os ângulos correspondentes às *alturas* diretamente, isto é, com um transferidor.

Outra maneira é espetar uma haste em um chão bem horizontal. Ela deve estar bem no prumo, isto é, bem vertical.

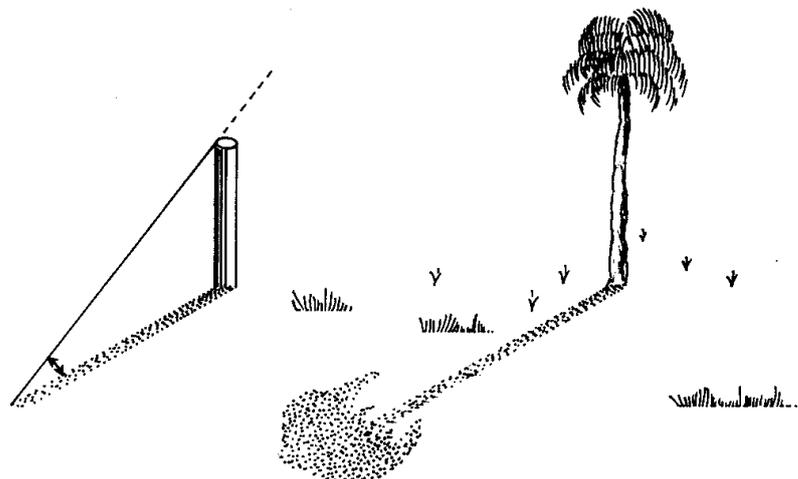


Fig. 2.12

A cada hora, por exemplo, você pode medir o comprimento da sombra. O comprimento da haste dividido pelo comprimento da sombra dá a *tangente (tg)* do ângulo **h**, a *altura*. Consultando, agora, uma tabela de funções trigonométricas, você deve procurar na coluna das tangentes o valor encontrado para cada divisão haste/sombra. Feito isso, na coluna dos ângulos você obterá os valores diretos das *alturas*. Esses valores também podem ser obtidos com o auxílio de uma régua de cálculo ou de uma calculadora.

Mas, você pode também dividir a altura da haste pela distância entre a extremidade da haste e a extremidade da sombra. Esse resultado dá o *seno (sen)* do ângulo **h**. Neste caso, você tem o ângulo caracterizado pelo seno, em lugar da tangente.

Outra sugestão é transportar para um papel os valores da haste e de sua sombra em cada medida. Você pode, então, ler os ângulos diretamente sobre o papel, usando o transferidor. Se você quiser, pode utilizar os dois métodos e compará-los. Você percebeu que pode caracterizar e mesmo medir ângulos (até em graus) sem usar tabela ou transferidor?

Ao realizar esta atividade, você está não só aprendendo um pouco de Astronomia, mas também entendendo profundamente conceitos importantes sobre ângulos, suas medidas e relações trigonométricas.

Você pode fazer uma tabela das *alturas* e dos *azimutes* do Sol para cada hora do dia. Se você começar logo que o Sol apareça no horizonte e prosseguir até o seu ocaso, sua tabela será mais completa e interessante. Os dados podem ser tomados de hora em hora, por exemplo.

Vejamos como medir os *azimutes*. Numa das atividades anteriores você aprendeu a determinar a linha meridiana. Lembre-se de que ela indica a direção norte-sul. Os azimutes são contados a partir do ponto sul, ou seja, o azimute do ponto sul é  $0^\circ$  (zero grau). Você pode contar, a partir do ponto sul, para oeste ou para leste (é preciso indicar em cada caso se o azimute é leste ou oeste).

Ao começar a atividade, você deve perceber que o azimute do Sol é também o ângulo formado pela linha meridiana com a sombra da haste vertical.<sup>\*</sup> Então, torna-se fácil medir também os azimutes, ou diretamente, ou transportando medidas para uma folha de papel.

Ao tomar os dados, coloque-os em duas tabelas como esta:

Hora	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Azimute												
Altura												

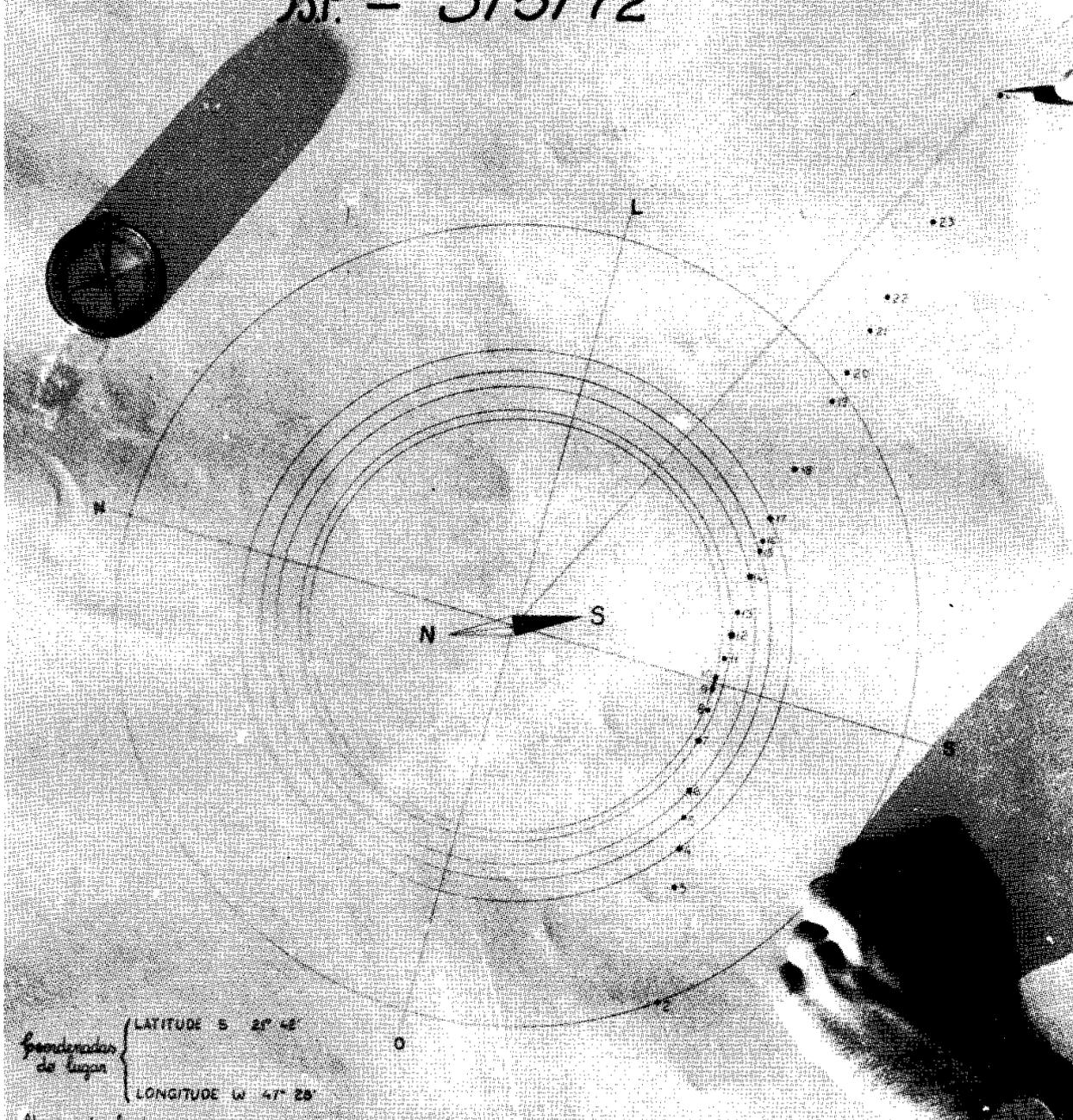
A partir dessas tabelas, você pode construir gráficos, que são também uma linguagem muito usada em Física; eles proporcionam uma visão mais ampla e clara do fenômeno.

Com base nos dois gráficos, procure responder às seguintes perguntas:

- 1) A altura do Sol cresce durante todo o dia?
- 2) A que horas a altura deixa de crescer e começa a decrescer?
- 3) Qual foi a altura máxima atingida pelo Sol durante esse dia?
- 4) Quanto valia o azimute no instante em que a altura foi máxima?
- 5) Houve algum momento em que a altura ficou igual a  $90^\circ$ ?
- 6) Você esperava que o Sol passasse todos os dias pelo zênite?
- 7) Você percebeu que os gráficos têm um eixo de simetria que passa pelos pontos máximo da altura e <sup>mínimo</sup> do azimute? Tome um ponto do eixo de simetria e compare as distâncias horizontais aos dois ramos da curva.
- 8) A altura levou mais tempo crescendo ou decrescendo?
- 9) Como se comparam os azimutes no nascer e no ocaso do Sol?
- 10) A que horas o Sol nasceu? A que horas se pôs?
- 11) O azimute, ao nascer, é maior, menor ou igual a  $90^\circ$ ? Isso significa que o Sol nasceu no ponto leste, mais para o sul ou mais para o norte desse ponto?
- 12) Você pode, pelo seu gráfico, dizer quando o Sol passou pelo **MAL**?
- 13) O meio-dia solar coincidiu com o meio-dia do relógio? Como você explica isso?

\* - contados a partir do norte

Medidas do comprimento da sombra durante  
 um dia em Santa Rita do Passa Quatro -  
 SP. - 3/5/72



coordenadas de lugar {  
 LATITUDE S 21° 45'  
 LONGITUDE W 47° 25'  
 altura da haste - 0,6 cm

Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Hora	8:45	9:15	10:00	10:15	10:30	10:50	11:20	11:40	11:55	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:50	14:20	14:40	14:50	15:00	15:15	15:35

Dados coletados por: Antônio Fernando  
 Direção: Prof. Raimundo Gomes  
 Desenho e elaboração: Dalinda Loureiro

Você deve ter percebido que as coordenadas *azimute* e *altura* são próprias de cada lugar e variam com o tempo. Isso quer dizer que estão mudando com o passar das horas. As alturas são medidas em relação ao horizonte. Mas este é diferente para cada lugar. Daí, você conclui que a altura varia também de lugar para lugar. Isso quer dizer que no momento em que a altura (por exemplo, do Sol) é zero para você (no amanhecer e no entardecer), ela tem outro valor para um observador de outro lugar. Em resumo, o azimute e a altura variam com o lugar e com o tempo.

Quando se trata de localizar estrelas sobre a esfera celeste, usamos outro sistema: o *equatorial*.

Este sistema tem coordenadas que não variam nem com o tempo, nem com o lugar. Elas se chamam *declinação* e *ascensão reta*.

A *declinação* é o ângulo ou arco do meridiano, contado a partir do *equador celeste*. A contagem é feita para o sul ou para o norte, dependendo do hemisfério celeste em que está a estrela. A declinação varia de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ . Os pólos celestes são pontos de declinação igual a  $90^\circ$ ; o equador celeste é o lugar dos pontos cuja declinação ( $\delta$ ) é de  $0^\circ$ . Muitas vezes, a *distância polar* ( $dp$ ) é usada em lugar da declinação. Ela é contada a partir dos pólos celestes e é complementar da declinação, ou seja,  $\text{distância polar} + \text{declinação} = 90^\circ$ .

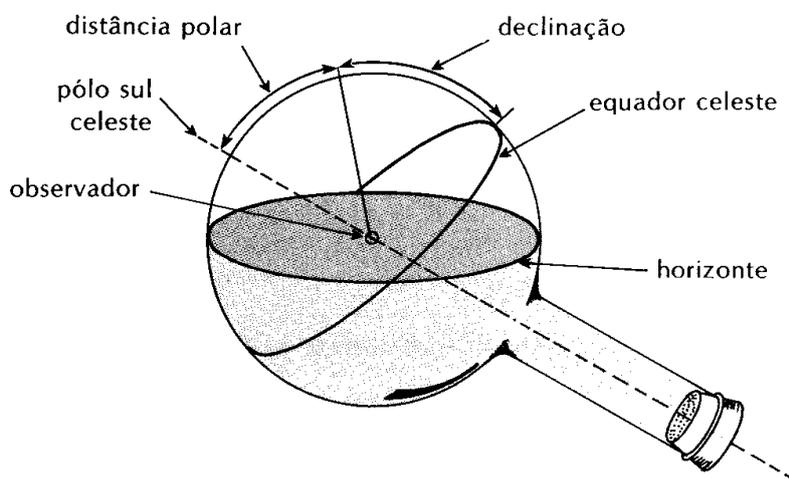


Fig. 2.13

Observando a fig. 2.13, você pode entender como estão relacionadas a declinação e a distância polar. A posição marcada pode, então, ser definida tanto pela declinação como pela distância polar (fig. 2.14).

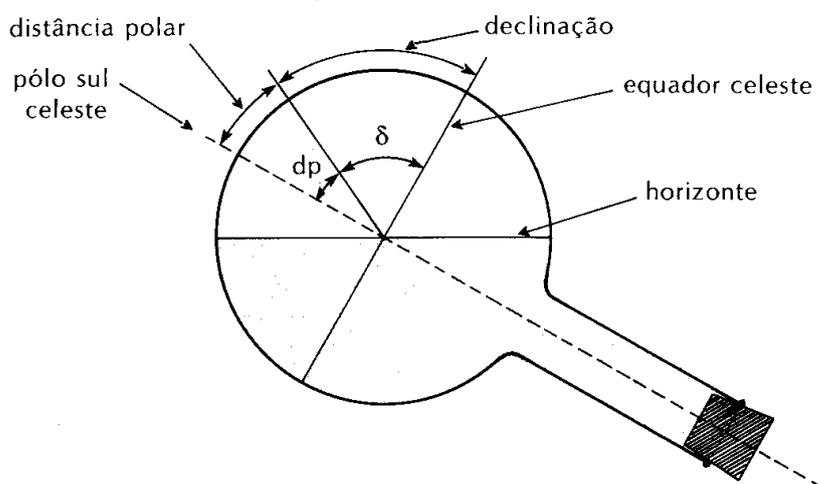


Fig. 2.14

Vejam, agora, a *ascensão reta*. Ela é o arco do equador compreendido entre o *ponto vernal* (encontro do equador com a eclíptica) e o meridiano que passa pelo ponto considerado. Pode-se dizer também que é o ângulo formado pelos dois meridianos: o que passa pelo ponto vernal e o que passa pelo ponto considerado (fig. 2.15).

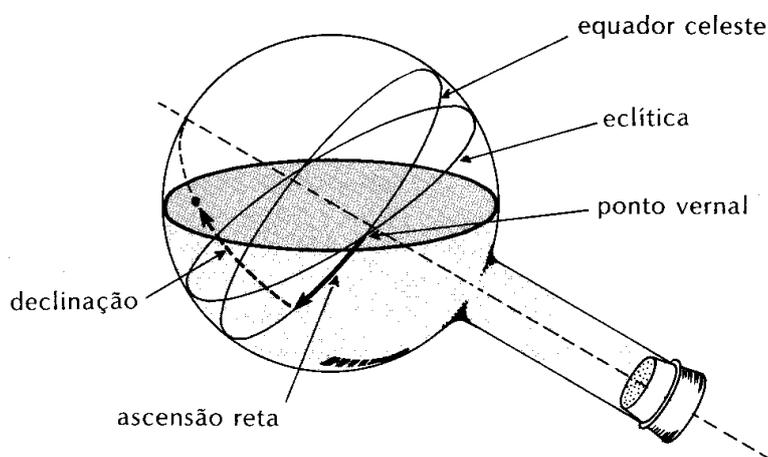


Fig. 2.15

As ascensões retas são contadas a partir do ponto vernal ( $\gamma$ ) e no sentido contrário ao da rotação aparente da esfera celeste, ou seja, no sentido direto ou sentido real (rotação da Terra).

As ascensões retas geralmente são contadas em horas, minutos e segundos. Como a volta completa ( $360^\circ$ ) é feita em 24 horas, a volta toda da esfera celeste pode ser dividida em 24 horas. Cada hora vale um arco de  $15^\circ$  ( $360^\circ : 24$ ).

## ATIVIDADE 2.4 LOCALIZANDO "ESTRELAS NO CÉU"

Agora que você sabe como localizar pontos sobre a esfera celeste, vamos utilizar esses conhecimentos.

Você vai representar algumas estrelas conhecidas sobre a sua esfera celeste.

Numa atividade anterior, você localizou alguns pontos ao acaso e que nada tinham a ver com estrelas reais.

Nas tabelas seguintes estão relacionadas algumas estrelas importantes com suas respectivas coordenadas celestes (as *declinações* e as *ascensões retas*). Você deve localizá-las sobre sua esfera celeste. As estrelas podem ser representadas por pequeninos pedaços de papel (confetes, por exemplo), ou por manchas feitas com lápis ou batom.

Coordenadas das estrelas do Cruzeiro do Sul		
Nome	AR	$\delta$
$\alpha$ (Alfa)	12 h 23,6 min	-62°49'
$\beta$ (Beta)	12 h 44,6 min	-59°25'
$\gamma$ (Gama)	12 h 28,4 min	-56°50'
$\delta$ (Delta)	12 h 12,5 min	-58°28'
$\epsilon$ (Épsilon)	12 h 18,6 min	-60°07'

Coordenadas das vinte estrelas mais brilhantes do céu		
Nome	AR	$\delta$
Sírius ( $\alpha$ Cão Maior)	6 h 42,9 min	-16°39'
Canopus ( $\alpha$ Navio)	6 h 22,8 min	-52°40'
$\alpha$ Centauro	14 h 36,2 min	-60°38'
Arcturus ( $\alpha$ Boieiro)	14 h 13,4 min	+19°27'
Vega ( $\alpha$ Lira)	18 h 35,2 min	+38°44'
Capela ( $\alpha$ Cocheiro)	5 h 13,0 min	+45°57'
Rigel (Órion)	5 h 12,1 min	-8°15'
Prócion (Cão Menor)	7 h 36,7 min	+5°21'
Betelgeuse (Órion)	5 h 52,5 min	+7°24'
Achernar (Eridano)	1 h 35,9 min	-57°29'
$\beta$ Centauro	14 h 0,3 min	-60°08'
Altair (Águia)	19 h 48,3 min	+8°44'
$\alpha$ Cruzeiro	12 h 23,8 min	-62°49'
Aldebarã (Touro)	4 h 33,0 min	+16°25'
Espiga (Virgem)	13 h 22,6 min	-10°54'
Antares (Escorpião)	16 h 26,3 min	-26°19'
Pólux (Gêmeos)	7 h 42,3 min	+28°09'
Fomalhaut (Peixe austral)	22 h 54,9 min	-29°53'
Deneb (Cisne)	20 h 39,7 min	+45°06'
$\beta$ Cruzeiro	12 h 44,8 min	-59°24'

Comece marcando as estrelas do Cruzeiro do Sul. Se você quiser e puder, marque também outras.

O trabalho de situar as estrelas sobre o céu se tornará mais fácil se você dividir toda a volta do equador em 24 partes (horas). Antes de tentar fazer essa divisão sobre o balão de vidro, tente sobre uma fita de papel (como uma serpentina).

Pegue uma fita e dobre-a com um comprimento exato de uma volta (o equador). Depois, divida-a em 24 partes e passe-as para o balão. Uma vez passadas essas divisões para o equador, você pode dividir cada intervalo em três partes. Estas serão as frações de **AR** (ascensão reta) de vinte em vinte minutos.

Com relação às declinações, não é preciso marcar nada sobre o frasco. Basta você utilizar uma fita, como a empregada para as ascensões retas. Marque sobre a fita a distância do equador ao pólo. Divida-a em nove partes e, depois, cada uma delas ao meio. Assim, cada traço valerá  $5^\circ$ . Não será preciso desenhar nada sobre o balão.

### Localização das estrelas

Faça a fita das declinações ficar distendida do pólo ao equador. A declinação  $0^\circ$  deve coincidir com o equador e a  $90^\circ$  com o pólo (fig. 2.16).

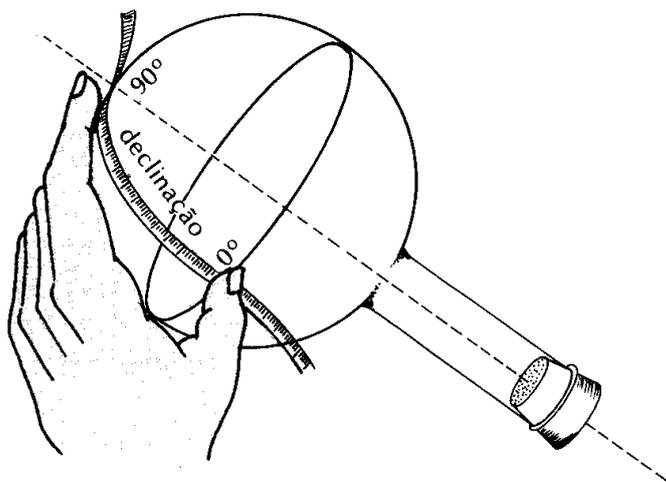


Fig. 2.16

Suponha que você queira começar com a estrela Alfa do Cruzeiro do Sul. As suas coordenadas são:

$$\delta = -63^\circ \text{ e } AR = 12,4 \text{ h}$$

Lembre-se de que o sinal negativo indica declinações contadas para o lado do pólo sul.

Aplique, então, o  $0^\circ$  da fita das declinações sobre o ponto do equador cuja **AR** é de 12,4 h. Mantendo a fita distendida entre o equador e o pólo, marque sobre a esfera o ponto que coincide com  $63^\circ$ . Essa é a posição da estrela Alfa do Cruzeiro do Sul, sobre o céu.

Repita o procedimento para quantas estrelas você quiser. Quanto mais estrelas representar, melhor você entenderá o que está fazendo e terá na sua esfera uma imagem mais completa das posições relativas das estrelas no céu.

## UM SISTEMA ESPECIAL PARA A FAMÍLIA SOLAR

Qual é o seu signo? Talvez Leão, ou Touro, ou quem sabe Sagitário. Certamente você já ouviu falar dos signos do zodíaco. Mas, será que isso realmente tem a ver com nossas qualidades ou com nosso futuro? É claro que não. Entretanto, isso é muito usado na exploração de credices e muita gente vive disso.

Afinal, de onde vem e o que quer dizer *o signo sob o qual nascemos?*

Muitos séculos antes da antiga Grécia, alguns povos haviam percebido que o Sol percorre no céu o mesmo caminho aparente durante cada ano. Todos os anos se repetia o aspecto do céu nas mesmas ocasiões. Esses povos perceberam que havia uma relação entre as estações do ano e as posições ocupadas pelo Sol no céu. Provavelmente desse fato resultou a crença de que as posições dos astros regulassem a vida aqui na Terra.

Os babilônios, ao que parece, foram os primeiros a seguir e assinalar o caminho sempre igual que o Sol percorre no seu movimento anual. E também perceberam que a Lua segue um trajeto sobre a mesma faixa do céu. O homem já havia percebido que as constelações mantêm as posições e configurações de estrelas. No entanto, observaram que um pequeno número de “estrelas” tinha um comportamento diferente do das demais. Enquanto as outras pareciam crivadas na face interna da abóbada celeste, estas se moviam de forma estranha. Em virtude desse comportamento misterioso, essas “estrelas” foram logo interpretadas como manifestações de divindades. Mais tarde os gregos chamaram esses astros de *estrelas errantes* ou *planetas*.

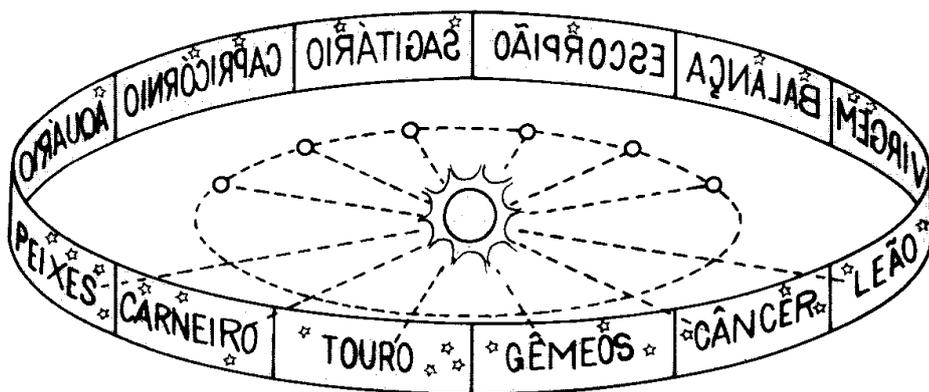


Fig.2.17

Se observarmos constantemente o deslocamento dos planetas, vamos perceber que seus movimentos parecem mesmo muito estranhos. Todos eles se movimentam sempre sobre uma mesma faixa do

céu, o *zodíaco*. O zodíaco é uma faixa de doze constelações dispostas ao longo da eclíptica. Procure se lembrar dos nomes de algumas delas. Se você não se lembrar, pergunte os signos de alguns de seus colegas.

Depois do advento do *heliocentrismo*, a explicação do estranho movimento dos planetas tornou-se simples: toda a família solar, isto é, o Sol, a Lua e todos os planetas movem-se sempre ao longo da eclíptica ou bem próximos dela.

Hoje sabemos que isso tem uma explicação muito simples: a Terra, a Lua e todos os planetas descrevem órbitas ao redor do Sol que estão muito próximas de um mesmo plano. Para maior facilidade, foi escolhido como plano fundamental o plano da órbita da Terra. É claro que o movimento aparente do Sol se faz nesse mesmo plano: o plano da eclíptica.

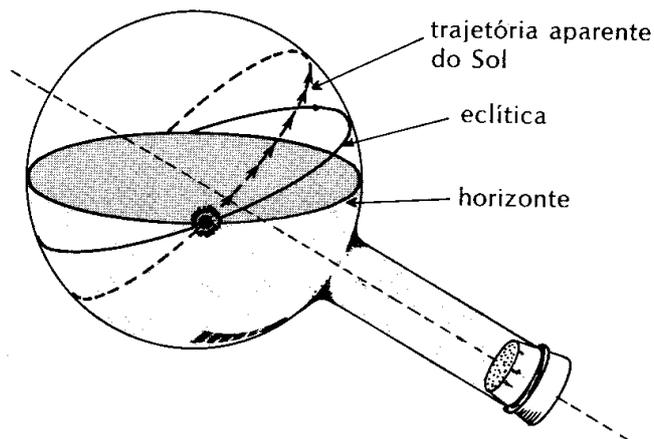


Fig. 2.18

Por essa razão os astrônomos resolveram determinar as posições dos planetas, do Sol e da Lua em relação a esse plano. Nesse sistema, as coordenadas são *longitude celeste* e *latitude celeste*.

A longitude celeste é contada a partir do ponto vernal (Gama) sobre a eclíptica. Ela varia de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  e é contada no sentido contrário ao do movimento aparente da esfera celeste.

A latitude celeste é o arco ou ângulo contado a partir da eclíptica perpendicularmente a ela. Varia de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  para o lado sul e para o lado norte.

As latitudes celestes dos planetas são sempre de poucos graus, pois, como já dissemos, eles estão sempre próximos à eclíptica. Os pontos sobre a eclíptica têm latitudes celestes de  $0^\circ$ .

Durante o ano, a longitude do Sol varia de  $0^\circ$  (em 20 de março) até  $360^\circ$  (no dia 20 de março, novamente).

Durante uma lunação (período entre duas luas novas — ou entre duas luas cheias — consecutivas), a *diferença das longitudes* do Sol e da Lua varia de  $360^\circ$ .

Você já deve ter percebido que lua nova é a fase em que a Lua está na mesma direção do Sol. Nesse momento, o Sol e a Lua têm a mesma longitude celeste. Na fase da lua cheia, a diferença de longitude é de  $180^\circ$ . No quarto crescente e no quarto minguante essa diferença de longitude é de  $90^\circ$ .

Durante toda a antiguidade da Astronomia, houve uma questão que sempre constituiu um grande enigma: o movimento *retrógrado* dos planetas. Já Heráclides, trezentos anos antes de Cristo, descrevia as “laçadas” feitas no céu pelos planetas. E esse movimento é mesmo curioso. Enquanto toda a esfera gira uniformemente, os planetas executam suas estranhas manobras. Mas, a explicação desse fato só se tornou possível com a introdução do sistema heliocêntrico de Copérnico. Realmente, uma vez admitido o Sol no centro com os planetas orbitando ao seu redor, a explicação se torna simples.

## **ATIVIDADE 2.5**

### **A “MANOBRA” DE UM PLANETA NO CÉU**

O mapa da fig. 2.19 representa um pedaço do céu, ao longo da eclíptica.

Você irá usar os dados da tabela sobre o movimento do planeta. Essas posições devem ser transportadas para o céu (no mapa).

Os dados da tabela foram retirados do *Anuário do Observatório de São Paulo* e representam um longo período de observações.

Assinale no mapa do céu os pontos dados pelas coordenadas contidas na tabela. Ponha ao lado de cada ponto um pequeno número para que fiquem numa ordem cronológica, isto é, numa ordem de tempo. Depois de assinalar todos os pontos, una-os em ordem cronológica por uma linha pontilhada. Essa linha representa o caminho aparente do planeta sobre o céu ou sobre o fundo de estrelas.

1. Você notou que durante todo o tempo o planeta se moveu sobre as constelações da eclíptica?

Como você explica esse fato?

2. Se todos os planetas tivessem suas órbitas rigorosamente no mesmo plano, como seria a trajetória aparente do planeta?

3. Você notou que o planeta chegou a parar e mudar de direção no seu movimento? Como você explicaria isso? Será que o planeta fez realmente uma marcha à ré?

**Sugestão:** Faça um diagrama do Sistema Solar: o Sol no centro e os planetas fazendo voltas ao redor dele. Lembre-se de que os planetas mais afastados têm maior período, isto é, levam mais tempo para fazer suas voltas ao redor do Sol.

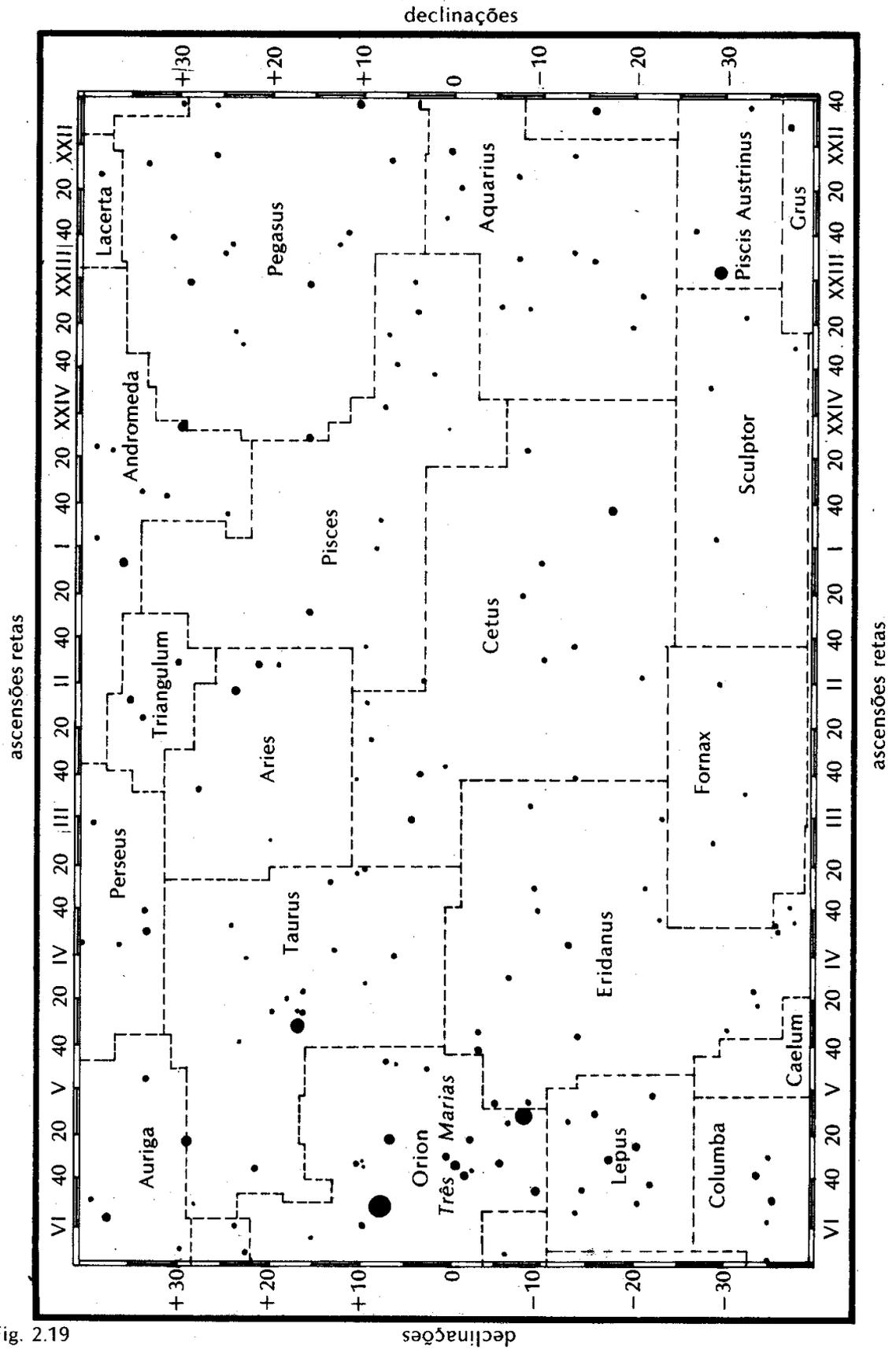


Fig. 2.19

declinações

Posições aparentes de Mercúrio em 1970		
Data	Ascensão reta (AR)	Declinação ( $\delta$ )
10/03/70	22 h 38 min 27,9 s	-10°56'36"
20/03/70	23 h 45 min 56,8 s	- 3°22'04"
01/04/70	1 h 12 min 14,3 s	+ 7°40'20"
10/04/70	2 h 14 min 22,7 s	+15°18'08"
20/04/70	3 h 3 min 10,3 s	+20°14'01"
01/05/70	3 h 16 min 53,9 s	+20°18'51"
10/05/70	3 h 2 min 0,4 s	+16°57'27"
20/05/70	2 h 47 min 10,6 s	+13°13'23"
01/06/70	3 h 1 min 14,4 s	+13°13'44"
10/06/70	3 h 35 min 13,5 s	+16°05'32"
20/06/70	4 h 34 min 48,0 s	+20°28'04"

Fonte: Instituto Astronômico e Geofísico da USP.

## SE VOCÊ QUISER SABER UM POUCO MAIS

Se você realizou todas as atividades e entendeu a leitura, você já tem boas idéias sobre os movimentos do céu. Se você gostou do assunto e está interessado em aprender um pouco mais, vale a pena prosseguir com algumas coisas.

### **ATIVIDADE 2.6** **A CAMINHADA DO SOL PELO CÉU DURANTE O ANO**

Você já notou que, no decorrer do ano, os dias não têm todos a mesma duração? Sabe por que isso acontece? O que chamamos de dia, em geral, não é o tempo durante o qual o Sol fica acima do horizonte? Com o auxílio do seu "céu" de vidro você pode prever a duração dos dias e das noites nas diferentes épocas do ano e em qualquer lugar da Terra. Com isso você entenderá também por que os dias são mais ou menos quentes nas diferentes épocas do ano (estações).

A tabela a seguir fornece algumas posições do Sol durante o ano de 1970.

As variações para diferentes anos são muito pequenas e por isso você pode usar esses dados para qualquer ano.

Data	AR	$\delta$	Data	AR	$\delta$
20/01	20,0 h	-20,0°	20/07	7,9 h	+20,8°
20/02	22,2 h	-11,0°	20/08	10,0 h	+12,5°
20/03	24,0 h	0°	23/09	12,0 h	0°
20/04	1,8 h	+11,0°	20/10	13,5 h	-10,0°
20/05	3,8 h	+20,0°	20/11	15,5 h	-19,5°
20/06	6,9 h	+23,5°	23/12	18,0 h	-23,5°

Os dados acima foram arredondados para facilitar o seu trabalho. As ascensões retas (**AR**) são dadas em horas e fração decimal de hora. As declinações ( $\delta$ ) são dadas em graus e fração decimal de grau. Geralmente, nas tabelas essas frações de horas e de graus são dadas em minutos e segundos, de tempo ou de ângulo.

Se você agora passar essas posições do Sol para a sua esfera celeste, poderá entender por que os dias têm durações diferentes nas diferentes épocas do ano e em qualquer parte do mundo.

A primeira coisa a fazer é marcar a posição do Sol sobre o céu. Depois, você pode simular o movimento diurno em qualquer lugar.

Escolha a data que você quiser e incline o balão com ângulo igual à latitude geográfica do lugar em que você está.

Agora, mantendo essa inclinação, faça girar o céu.

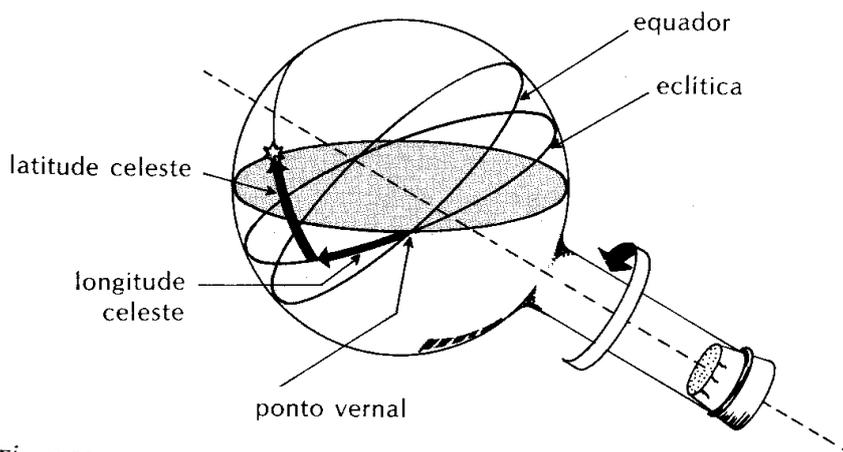


Fig. 2.20

Observe o tamanho dos arcos diurnos descritos pelo Sol em diferentes épocas do ano e procure responder às perguntas:

- 1) O ponto do horizonte em que o Sol nasce é sempre o mesmo?
- 2) Quando o Sol nasce exatamente no ponto leste?

- 3) Na época em que o Sol nasce exatamente a leste em que ponto se dá o ocaso?
- 4) Em que época (ou épocas) do ano o dia e a noite têm a mesma duração?
- 5) Em que época do ano os dias são mais longos? Quando são mais curtos?
- 6) Todos os dias, ao meio-dia, o Sol passa pelo zênite?
- 7) Existem pontos na Terra em que o dia e a noite têm sempre a mesma duração?
- 8) Descreva o movimento do Sol e a duração do dia e da noite para um observador situado num dos pólos da Terra. Use o seu "céu".
- 9) Quantas horas têm o dia mais longo e o dia mais curto? (**Sugestão:** Lembre-se de que a duração do dia é proporcional ao tamanho do arco descrito pelo Sol acima do horizonte.)
- 10) Você pode fazer uma tabela com as durações do dia e da noite para as diferentes épocas do ano. Você sabe que o Sol está na sua altura máxima (culminação) ao redor de meio-dia. Com essa informação e a anterior, você pode até fazer uma tabela de previsões. Pode prever aproximadamente os horários do aparecimento do Sol no seu horizonte e no de qualquer outro lugar.

## UM POUCO MAIS AINDA

### LATITUDE E ALTURA DO PÓLO CELESTE

Quando você começou a simular o movimento diurno, vimos que você deveria manter o eixo do mundo (do frasco) com uma inclinação, em relação à água, igual à latitude geográfica do lugar.

A vertical (direção do fio de prumo) é perpendicular à superfície (ao plano) da água (do horizonte).

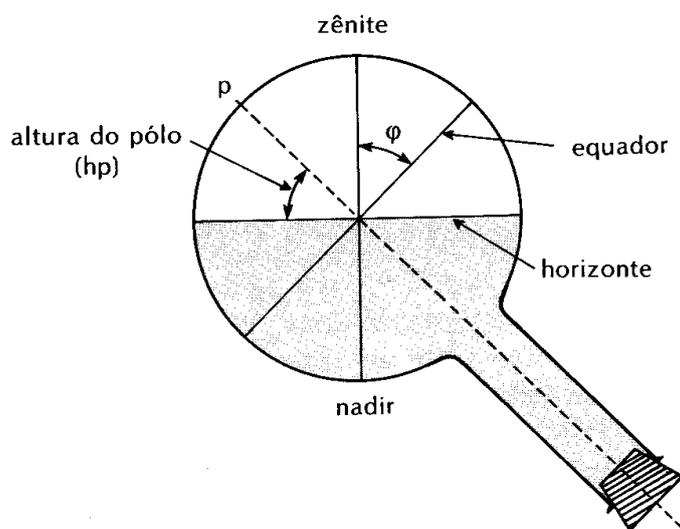


Fig.2.21

A vertical “fura” o céu em dois lugares: o *zênite* (acima) e o *nadir* (abaixo). O eixo do mundo e o equador também são perpendiculares entre si, por definição.

Observe, agora, a fig. 2.21, que representa um corte meridiano da esfera celeste.

Mas o que se chama latitude geográfica do lugar? Veja num globo terrestre que é o ângulo formado pela vertical do lugar com o plano do Equador terrestre. E o equador celeste é a projeção do Equador terrestre (estão no mesmo plano). Então, o ângulo da vertical com o equador celeste também é igual à latitude geográfica do lugar. Esta geralmente é representada pela letra grega  $\varphi$  (*fi*).

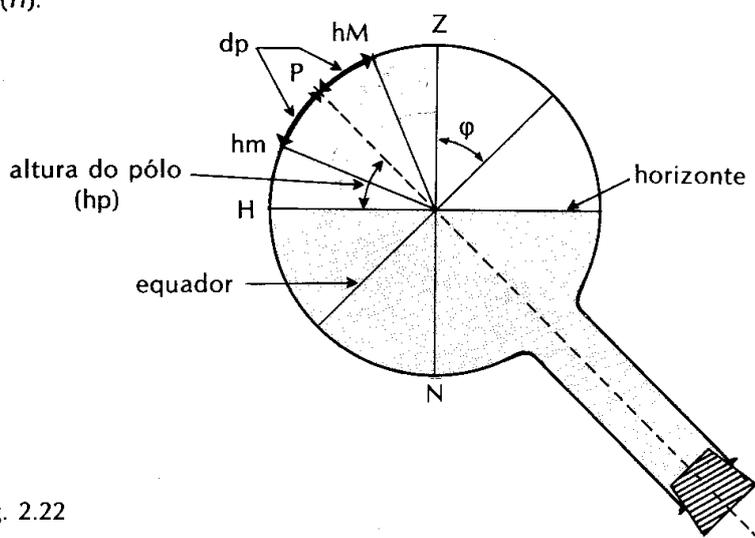


Fig. 2.22

Então:

$$hp + P\hat{O}Z = 90^\circ$$

ou

$$hp = 90^\circ - P\hat{O}Z \quad (1)$$

Por outro lado:

$$\varphi + Z\hat{O}P = 90^\circ$$

ou

$$\varphi = 90^\circ - Z\hat{O}P$$

Mas,  $Z\hat{O}P = P\hat{O}Z$ . Então:

$$\varphi = 90^\circ - P\hat{O}Z \quad (2)$$

Comparando (1) com (2), temos que  $hp = \varphi$ , ou seja, a altura do pólo em um lugar é igual à latitude geográfica desse lugar.

Então, quando queremos saber em que latitude estamos, basta determinarmos a altura do pólo celeste nesse lugar.

Mas, como determinar a altura do pólo?

Você já sabe determinar o **MAL** (meridiano astronômico do lugar).

Agora, você tem a possibilidade de aplicar seus últimos conhecimentos. Considere, como no caso da altura do pólo, uma seção meridiana da esfera celeste.

Uma estrela qualquer passa duas vezes (em cada volta) pelo **MAL**. Uma se chama *passagem inferior* e se dá quando a estrela passa pelo **MAL** "abaixo" do pólo. A outra se chama *passagem superior* e se dá quando a estrela passa pelo **MAL** "para cima" do pólo visível.

Vimos há pouco que a latitude geográfica do lugar ( $\phi$ ) é igual à altura do pólo ( $hp$ ). Determinar a latitude geográfica do lugar é o mesmo, então, que determinar a altura do pólo. Observe a fig. 2.23.

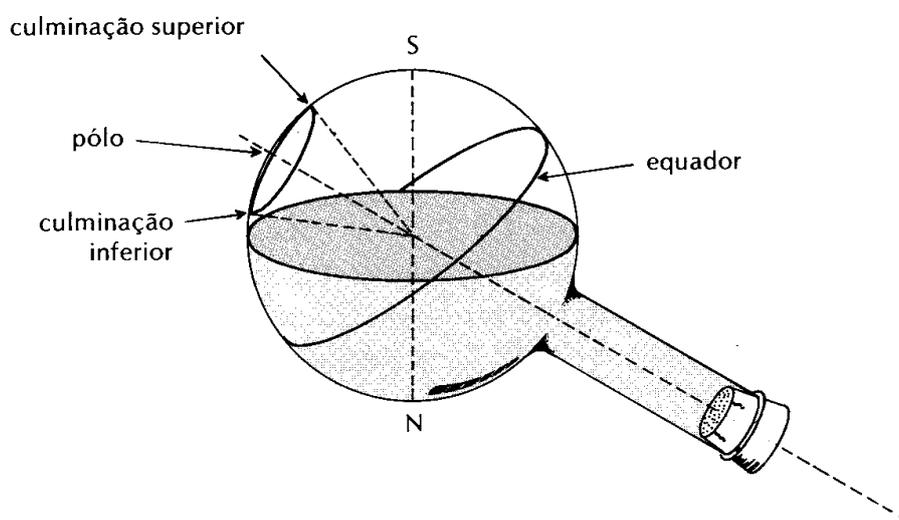


Fig. 2.23

Numa das atividades anteriores você aprendeu que existem estrelas que não nascem e nem se põem, isto é, permanecem sempre acima do horizonte. Essas estrelas chamam-se *circumpolares*. O número delas depende da latitude em que está o observador. Para um observador no Equador terrestre não há estrelas circumpolares; para um observador situado num dos pólos todas as estrelas desse hemisfério são circumpolares.

Vamos observar uma dessas estrelas em suas duas passagens pelo **MAL**. Ela terá uma altura máxima ( $hM$ ) "acima" do pólo.

Durante todo o tempo suas coordenadas equatoriais não mudam. Não mudam, portanto, nem **AR**, nem  $\delta$  e nem **dp** (distância polar).

Quando a estrela estiver em sua passagem superior no **MAL**, teremos:

$$hp = hM - dp$$

Quando a estrela estiver em sua passagem inferior, teremos:

$$hp = hm + dp$$

Somando as duas expressões, vem:

$$2 hp = hM + hm$$

ou

$$h_p = \frac{h_M + h_m}{2}$$

Mas,  $h_p = \varphi$ . Então:

$$\varphi = \frac{h_M + h_m}{2},$$

ou seja, a latitude geográfica do lugar é igual à semi-soma (ou média) das alturas máxima e mínima de uma estrela circumpolar.

A desvantagem deste método é que exige duas observações da mesma estrela, separadas por doze horas. Isso muitas vezes é impossível, pois uma das observações deve ocorrer durante o dia.

Mas há outro método: na prática, pode ocorrer que o observador tenha um catálogo de estrelas com as respectivas coordenadas. Identificadas uma estrela e suas coordenadas, o problema se simplifica. Basta ter a declinação ou a distância polar da estrela.

Então, se a estrela está em sua passagem inferior, temos:

$$h_p = h_m - dp$$

Obtendo **hm** por medida direta e conhecendo **dp**, fica determinado **hp** e, portanto,  $\varphi$ .

Se a estrela está em sua passagem superior, temos:

$$h_p = h_M - dp$$

Conhecendo **dp** e medindo **hM**, obtemos **hp** ou  $\varphi$ .

Era desse modo que os navegadores determinavam a latitude do lugar em que estavam. Para fazê-lo com uma só observação, eles deviam possuir um catálogo com as coordenadas das estrelas. Conhecendo a declinação ou distância polar da estrela, podiam determinar a latitude com uma só observação. Essa observação da altura do astro era feita com o *sextante*, que até hoje é símbolo dos navegadores.

Esse mesmo método tem sido usado em aviões que realizam vôos muito longos e fora de rotas dotadas de sinalização eletrônica, como as rotas polares.