

25

OBSERVAÇÃO MERIDIANA DO SOL PARA DETERMINAÇÃO DA LATITUDE NO MAR. LATITUDE PELA ESTRELA POLAR

25.1 PASSAGEM MERIDIANA DO SOL

Denomina-se **passagem meridiana do Sol**, em um determinado local, ao instante em que o **centro do Sol** cruza exatamente o **meridiano superior do local**. Neste instante, que define o “**meio-dia verdadeiro**”, o Sol, no seu movimento diurno, alcança a sua maior altura, sendo o seu Azimute precisamente 000° (Norte) ou 180° (Sul).

No instante da **passagem meridiana**, os três vértices do “**triângulo de posição**” (o **pólo elevado**, o **Zênite do observador** e o **astro**) encontram-se sobre um mesmo círculo máximo da esfera celeste: o **meridiano do observador**. Desta forma, o “**triângulo de posição**” na **passagem meridiana** transforma-se em uma linha (um arco do meridiano local), como mostra a figura 25.1.

Acompanhando pela figura 25.1, verifica-se que o Sol, no seu movimento aparente ao redor da Terra, nasce no ponto indicado e eleva-se no céu a Leste do observador, percorrendo o seu **círculo diurno** (ou **paralelo de declinação**). A altura do Sol sobre o horizonte aumenta até que o astro alcança a posição **M**, sobre o **meridiano do observador**. Quando cruza o **meridiano superior do observador**, o Sol alcança sua **altura máxima**. Neste instante, o **círculo horário** do astro (**PnMPs**) coincide com o **meridiano do observador** (**PnZPs**) e, conseqüentemente, anula-se o **ângulo horário local** (**AHL** ou **t**). Além disso, o **vertical do astro** (**ZMN**) torna-se, também, coincidente com o **meridiano do observador** e o **ângulo no Zênite** (**Z**) passa a ter o valor 000° ou 180° . Assim, o **triângulo de posição** deixa de existir, convertendo-se em um

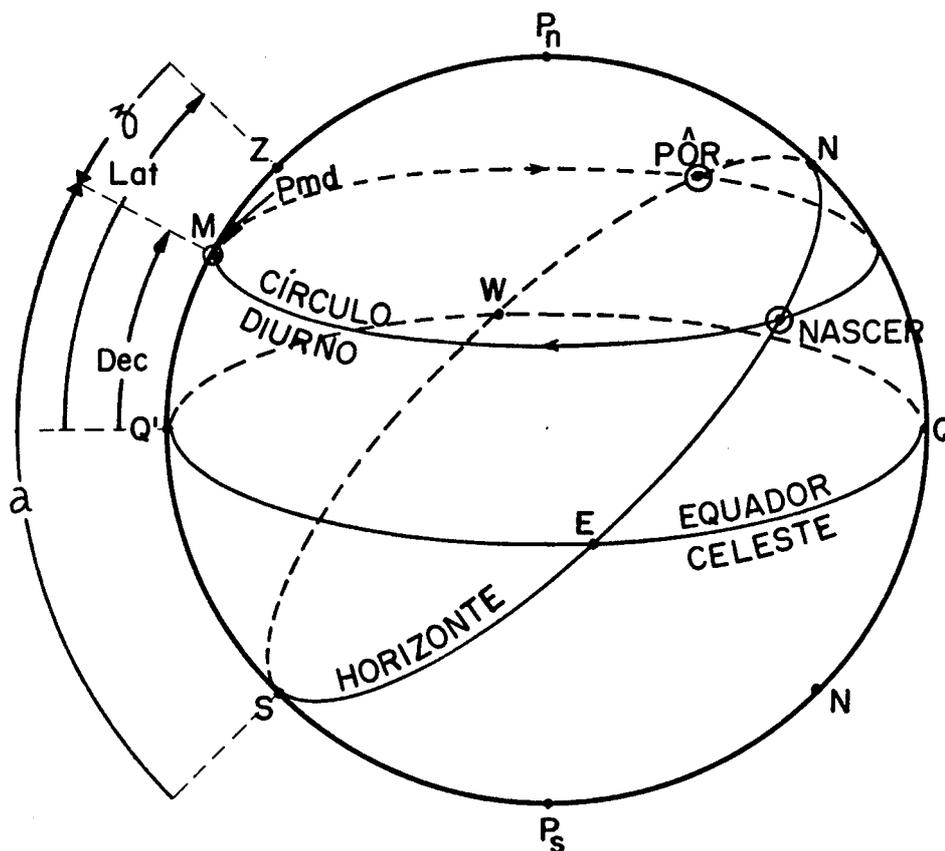
arco do meridiano local (PnZM), tornando extremamente simples o cálculo da **Latitude**. Após a passagem meridiana, a altura do **Sol** começa a diminuir, conforme o astro percorre sua trajetória diária aparente no céu a Oeste do observador, até o **pôr-do-Sol**, no ponto indicado na figura 25.1, onde a sua altura sobre o horizonte é nula.

Para determinar a **Latitude** mediante a observação de um astro no instante de sua **passagem meridiana**, é necessário somente combinar a **distância zenital (z)** com o valor da **Declinação (Dec)** no momento considerado. No caso da figura 25.1, por exemplo, teríamos:

$$\text{Lat md} = \text{Dec} + z$$

O exame da figura 25.1 permite, ainda, concluir que a **Latitude meridiana** é igual à **altura do pólo elevado** sobre o horizonte.

Figura 25.1 - O Triângulo de Posição na Passagem Meridiana



A LINHA DE POSIÇÃO MERIDIANA, OBTIDA QUANDO SE OBSERVA A ALTURA DO SOL NA PASSAGEM MERIDIANA, É IMPORTANTE, POIS FORNECE A LATITUDE DO OBSERVADOR (LATITUDE MERIDIANA).

NESTE CASO:

$$\text{Lat} = \text{Dec} + z$$

25.2 OBSERVAÇÃO DO SOL NA PASSAGEM MERIDIANA

Na **passagem meridiana** o Sol está exatamente sobre o **meridiano local**. Como vimos, o meridiano do observador determina a direção Norte–Sul no local. Assim, na **passagem meridiana** o Azimute do Sol é sempre **000°** (Sol ao Norte do Zênite do observador) ou **180°** (Sol ao Sul do Zênite do observador, como é o caso da figura 25.1).

Desta forma, como a linha de posição (LDP) é perpendicular ao Azimute do astro observado, a **LDP** terá a direção **090°/270° (E/W)**, sendo, portanto, paralela ao Equador, e, assim, definindo a **Latitude do observador**.

Então, podemos concluir que observa-se o Sol na **passagem meridiana** para definir a **Latitude do observador**. Ademais, outras vantagens da **observação meridiana do Sol** são:

a. A observação do Sol no instante (ou próximo do instante) da passagem meridiana produz uma linha de posição (LDP) de boa precisão, pois a altura do Sol varia muito lentamente nas proximidades da passagem meridiana, permitindo uma observação de altura precisa e reduzindo os efeitos de um eventual erro na hora da observação; e

b. a solução do “triângulo de posição” na passagem meridiana é simplificada, podendo a **Latitude do observador (Latitude meridiana)** ser determinada apenas pela combinação da **Declinação do Sol (Dec)** e de sua **distância zenital (z)**, no instante da observação.

Outras circunstâncias favoráveis para a determinação da **Latitude** pela observação de um astro na **passagem meridiana** constam do Apêndice a este Capítulo.

25.3 PREVISÃO DA HORA LEGAL DA PASSAGEM MERIDIANA SUPERIOR DO SOL (MÉTODOS APROXIMADOS)

Para observar o Sol no instante da **passagem meridiana**, o navegante necessita conhecer a **Hora Legal (Hleg)** em que ocorrerá o fenômeno, para, neste momento, estar pronto para medir a altura do Sol com o sextante.

O **Almanaque Náutico** fornece os elementos necessários para a previsão da **Hora Legal** da **passagem meridiana** do Sol. Para os objetivos da **Navegação Astronômica**, os **métodos aproximados** descritos a seguir proporcionam a precisão necessária.

1º MÉTODO: UTILIZANDO AS INFORMAÇÕES DO ALMANAQUE NÁUTICO SOBRE A HORA MÉDIA LOCAL DA PASSAGEM MERIDIANA DO SOL

O **Almanaque Náutico** fornece, em cada “página diária”, os instantes das **passagens meridianas** do Sol pelo meridiano de Greenwich, para os 3 dias correspondentes à página. Tais dados podem ser considerados, com boa aproximação, como a **Hora Média Local (HML)** da **passagem meridiana** do Sol em qualquer lugar da Terra.

Os instantes da **passagem meridiana do Sol** para os 3 dias de cada página estão tabulados na parte inferior da página direita de cada “página diária” do **Almanaque Náutico**.

Obtida no **Almanaque Náutico** a **Hora Média Local (HML)** da **passagem meridiana (Pmd)** do **Sol**, transforma-se-a, então, em **Hora Legal (Hleg)**, usando a seguinte seqüência:

a. Transformar a **HML** em **HMG**, aplicando a **Longitude estimada**, expressa em **unidades de tempo**, lembrando sempre que, como vimos:

$$\begin{aligned} \text{HMG} &= \text{HML} + \text{Long (W)} \\ \text{HMG} &= \text{HML} - \text{Long (E)} \end{aligned}$$

b. transformar a **HMG** em **Hora Legal (Hleg)**, aplicando o **fuso horário** em que se acha o navegante.

EXEMPLOS:

1. Calcular a **Hora Legal (Hleg)** da **passagem meridiana (Pmd)** do **Sol** para a **posição estimada** Latitude 24° 15' S e Longitude 043° 27' W, no dia 07/11/93.

SOLUÇÃO:

a. Transformar a **Longitude** para **unidades de tempo** (com aproximação de minuto), usando a Tábua de “CONVERSÃO DE ARCO EM TEMPO”, na página amarela nº I (primeira página amarela, no final do Almanaque Náutico), reproduzida na figura 19.9 (ver o Capítulo 19):

$$\begin{array}{r} 043^\circ \quad = \quad 02^h \ 52^m \\ \quad 27' \quad = \quad \quad 01^m \ 48^s \\ \hline 043^\circ \ 27' = 02^h \ 53^m \ 48^s \cong 02^h \ 54^m \ W \end{array}$$

b. Obter, no Almanaque Náutico, a **HML** da **Pmd** do **Sol** no dia 07/11/93 (ver a figura 24.4):

$$\text{HML} = 11^h \ 44^m$$

c. Transformar a **HML** em **HMG**:

$$\begin{array}{r} \text{HML} = 11^h \ 44^m \\ \text{Long} = 02^h \ 54^m \ W \\ \hline \text{HMG} = 14^h \ 38^m \end{array}$$

d. Transformar a **HMG** em **Hleg** (fuso = + 03^h P):

$$\begin{array}{r} \text{HMG} = 14^h \ 38^m \\ \text{FUSO} = 03^h \quad (P) \\ \hline \text{Hleg} = 11^h \ 38^m \end{array}$$

2. Calcular a **Hleg** da **Pmd** do **Sol** para a **posição estimada** Latitude 26° 05'S e Longitude 039° 40' W, no dia 08/11/93 (hora de verão em uso).

SOLUÇÃO:

$$\begin{array}{r} \text{HML (Pmd)} = 11^{\text{h}} 44^{\text{m}} \\ \text{Long } 039^{\circ} 40' \text{ W} = 02^{\text{h}} 39^{\text{m}} \text{ W} \\ \hline \text{HMG (Pmd)} = 14^{\text{h}} 23^{\text{m}} \\ \text{Fuso (hora de verão)} = 02^{\text{h}} \quad (\text{O}) \\ \hline \text{Hleg (Pmd)} = 12^{\text{h}} 23^{\text{m}} (\text{Horário de Verão}) \end{array}$$

Para um navio em movimento, o navegante terá que projetar, baseado em sua **Navegação Estimada**, a posição em que estará por ocasião da **passagem meridiana do Sol**, a fim de calcular a **Hora Legal do fenômeno**. Para isto, usar o seguinte método:

- a. Obter, no Almanaque Náutico, a Hora Média Local (HML) da **passagem meridiana (Pmd)** do Sol, para a data;
- b. plotar uma **posição estimada** para este instante (considerando a **HML** como **Hora Legal**), baseando-se na projeção do movimento do navio;
- c. para esta **posição estimada**, transformar a **HML** em **HMG** e, em seguida, a **HMG** em **Hora Legal**, utilizando o processo anteriormente explicado; e
- d. caso deseje uma precisão ainda maior, fazer uma segunda estima, plotando uma outra **posição estimada** para a hora obtida e, então, transformando a **HML** em **Hleg** para esta nova posição (esta **segunda estima** é, normalmente, dispensável, tendo em vista que, para o navegante, a única finalidade do cálculo é obter a hora aproximada da **passagem meridiana** do Sol, a fim de estar pronto para observar com o **sextante** a sua **altura meridiana**).

EXEMPLOS:

1. Às 0800 (Hleg) de 8/11/93, a posição do navio é Latitude 00° 00,0' e Longitude 030° 10,0' W, sendo o rumo 270° e a velocidade 12,0 nós. Determinar a **Hora Legal** da **passagem meridiana (Pmd)** do **Sol**, considerando que o navio manterá o rumo e a velocidade.

SOLUÇÃO:

- a. Obter, no Almanaque Náutico, a HML da Pmd do Sol para 08/11/93:

$$\text{HML} = 11^{\text{h}} 44^{\text{m}}$$

- b. Plotar, na carta, a **posição estimada** do navio às 1144 e retirar as coordenadas:

$$\text{Lat } 00^{\circ} 00,0'$$

$$\text{Long } 030^{\circ} 54,8' \text{ W} = 02^{\text{h}} 04^{\text{m}} \text{ W (arredondado para o minuto inteiro)}$$

- c. Para esta posição, transformar a HML em Hleg:

$$\begin{array}{r} \text{HML} = 11^{\text{h}} 44^{\text{m}} \\ \text{Long } 030^{\circ} 54,8' \text{ W} = 02^{\text{h}} 04^{\text{m}} \text{ W} \\ \hline \text{HMG (Pmd)} = 13^{\text{h}} 48^{\text{m}} \\ \text{Fuso} = 02^{\text{h}} \quad (\text{O}) \\ \hline \text{Hleg} = 11^{\text{h}} 48^{\text{m}} \end{array}$$

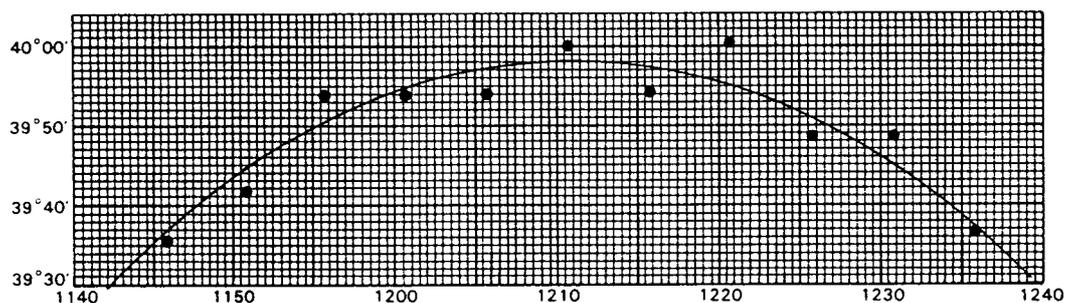
OBSERVAÇÕES:

a. O cálculo da **Hora Legal (Hleg)** da **passagem meridiana (Pmd)** do **Sol** para um navio (ou embarcação) em movimento é, como vimos, aproximado e depende da precisão da **Navegação Estimada** executada.

b. Na prática, o navegante normalmente começa a observar o Sol com o sextante cerca de **5 minutos** antes da **Hleg** estimada para a **passagem meridiana**, e continua as observações até cerca de **5 minutos** depois da referida hora, para levar em conta quaisquer possíveis erros no cálculo da Hleg da Pmd do Sol.

c. Então, o navegante observará uma série de **alturas do Sol**, com suas respectivas **horas**, e usará a **altura mais elevada (a)** para calcular sua Latitude meridiana, através da combinação da distância zenital meridiana do Sol ($z = 90^\circ - a$) com sua Declinação (Dec) no instante da observação, como explicaremos mais adiante. Com o propósito de evitar erros, pode-se traçar, em papel milimetrado, uma curva das alturas observadas em função das horas correspondentes. A altura indicada na parte superior da curva será a **altura meridiana**, que deverá ser adotada no cálculo da **Latitude** (ver a figura 25.1a).

Figura 25.1a - Gráfico das Alturas em Função do Tempo, nas Proximidades da Passagem Meridiana



2. Às 0830 (Hleg) do dia 27 de setembro de 1993, um navio encontra-se na posição Latitude $23^\circ 09,7' S$ e Longitude $042^\circ 48,0' W$, navegando no rumo 260° , com a velocidade de 10 nós. Considerando que o navio continuará com o mesmo rumo e velocidade, calcular a Hora Legal da passagem meridiana do Sol.

SOLUÇÃO:

a. Obter, no Almanaque Náutico, a HML da Pmd do Sol para 27/09/93, cuja “página diária” está reproduzida na figura 23.4 (ver o Capítulo 23):

$$HML = 11^h 51^m$$

b. Plotar, na carta, ou obter pelo cálculo, uma **posição estimada** correspondente à hora prevista para a passagem meridiana do astro.

– No caso da obtenção pelo cálculo, determina-se primeiro o intervalo de tempo entre a hora em que foi obtida a posição pela manhã e a hora da passagem meridiana do Sol retirada do Almanaque Náutico.

– No exemplo:

$$\begin{array}{r} 11^h 51^m \\ \underline{8^h 30^m} \\ I = 03^h 21^m = 3,35 \text{ horas} \end{array}$$

– Conhecido este intervalo de tempo, calcula-se a distância percorrida pelo navio, resolvendo a equação $d = v \cdot t$. No exemplo, como a velocidade é de 10 nós, teremos $d = 33,5$ milhas.

– Com o rumo e a distância navegada, entra-se na Tábua do Ponto, ou resolvem-se as equações da **derrota loxodrômica**:

$$\begin{aligned}\Delta\varphi &= d \cdot \cos R \\ ap &= d \cdot \sin R \\ \Delta\lambda &= ap \cdot \sec \varphi_m\end{aligned}$$

– No exemplo:

$$\begin{aligned}\Delta\varphi &= 5,8' \text{ S} \\ ap &= 33,0' \text{ W} \\ \Delta\lambda &= 35,9' \text{ W}\end{aligned}$$

$$\begin{array}{r} \varphi_1 = 23^\circ 09,7' \text{ S} \\ \Delta\varphi = 05,8' \text{ S} \\ \hline \varphi_e = 23^\circ 15,5' \text{ S} \end{array} \qquad \begin{array}{r} \lambda_1 = 042^\circ 48,0' \text{ W} \\ \Delta\lambda = 35,9' \text{ W} \\ \hline \lambda_e = 043^\circ 23,9' \text{ W} \end{array}$$

– Posição do navio às 1151 horas:

$$\varphi_e = 23^\circ 15,5' \text{ S} ; \lambda_e = 043^\circ 23,9' \text{ W} = 02^h 54^m \text{ W}$$

c. Para esta posição, transforma-se a HML em Hleg:

$$\begin{array}{r} \text{HML} = 11^h 51^m \\ \text{Long } 043^\circ 23,9' \text{ W} = 02^h 54^m \\ \hline \text{HMG (Pmd)} = 14^h 45^m \\ \text{Fuso} = 03^h \text{ (P)} \\ \hline \text{Hleg} = 11^h 45^m \end{array}$$

Poder-se-ia, ainda, por aproximação sucessiva, determinar a Longitude estimada em que estaria o navio às 1145 e refazer o cálculo da hora do fenômeno, transformando, para esta nova Longitude, a HML em Hleg. Entretanto, conforme mencionado, esta segunda aproximação é, normalmente, dispensável para os propósitos da Navegação Astronômica. No caso em questão, por exemplo, a diferença entre a hora usada para a plotagem inicial e a hora calculada foi de 6 minutos. Neste intervalo de tempo, um navio na velocidade de 10 nós percorreria a distância de 1 milha. Mesmo que essa distância fosse totalmente navegada no sentido E–W, resultaria apenas em uma diferença de 4 segundos na hora da **passagem meridiana**, o que não tem qualquer significado para o navegante (como vimos, a **Hleg** da **Pmd** é aproximada ao minuto inteiro).

2º MÉTODO: UTILIZANDO A HORA VERDADEIRA E A EQUAÇÃO DO TEMPO FORNECIDA PELO ALMANAQUE NÁUTICO PARA CALCULAR A HORA LEGAL DA PASSAGEM MERIDIANA DO SOL

Como vimos, o instante em que o Sol cruza o **meridiano superior** de um lugar marca o “**meio dia verdadeiro**” no local, isto é, neste instante, $HVL = 12^h$. O método, então, consiste em converter este **tempo verdadeiro** ($HVL = 12^h$) em **tempo civil (Hora Legal)**.

O **Almanaque Náutico** fornece o valor da **Equação do Tempo (ET)**, para 00^h e 12^h de cada dia, em suas “**páginas diárias**” (na extremidade inferior das páginas da direita). Conforme sabemos, a **Equação do Tempo (ET)** expressa a diferença entre **tempo verdadeiro** e **tempo médio**. A **ET** tabulada no **Almanaque Náutico** fornece o

valor de **HVG - HMG**, mas pode ser considerada, com boa aproximação, como **HVL - HML**, para qualquer lugar da Terra.

Assim, aplicando o valor da **Equação do Tempo** (para 12^h) à **HVL = 12^h** (e considerando que **ET = HVL - HML**), obtém-se a **HML** da Pmd do Sol. Esta **Hora Média Local** é, então, transformada em **Hora Legal**, conforme anteriormente explicado.

EXEMPLO:

Calcular, pelo método da Hora Verdadeira e Equação do Tempo, a Hora Legal da Pmd do Sol, no dia 06/11/93, na posição Latitude 12° 25,0' S e Longitude 028° 34,5' W.

$$\begin{array}{r}
 \text{HVL} = 12^{\text{h}} 00^{\text{m}} 00^{\text{s}} \\
 - \text{ET} = - 16^{\text{m}} 20^{\text{s}} \text{ (ver a figura 24.4)} \\
 \hline
 \text{HML} = 11^{\text{h}} 43^{\text{m}} 40^{\text{s}} \\
 \text{Long } 028^{\circ} 34,5' \text{W} = 01^{\text{h}} 54^{\text{m}} 18^{\text{s}} \text{ W} \\
 \hline
 \text{HMG} = 13^{\text{h}} 37^{\text{m}} 58^{\text{s}} \\
 \text{Fuso} = 02^{\text{h}} \quad (\text{O}) \\
 \hline
 \text{Hleg} = 11^{\text{h}} 37^{\text{m}} 58^{\text{s}} \cong 11^{\text{h}} 38^{\text{m}}
 \end{array}$$

Para o caso de um navio em movimento, admite-se, inicialmente, em primeira aproximação, que a **passagem meridiana** do Sol ocorre às 1200 (Hleg). Então, plota-se (ou calcula-se) uma **posição estimada** para este instante e, para tal posição, converte-se a **HVL = 12^h** em Hleg, utilizando-se o valor da Equação do Tempo para a data (às 12^h), fornecido pelo Almanaque Náutico.

EXEMPLO:

O Encarregado de Navegação de um navio que navegava no rumo verdadeiro de 160°, com a velocidade de 15 nós, determinou às 0850 (Hleg) do dia 29 de junho de 1993, a seguinte posição para o navio: Latitude = 25° 18,0' S e Longitude = 035° 50,0' W.

Conhecida a HVL da passagem meridiana (1200), calcular a Hora Legal correspondente, sabendo-se que o valor da Equação do Tempo, fornecido pelo Almanaque Náutico, para 29/06/93 (às 12^h) é - 03^m 26^s.

SOLUÇÃO:

Admite-se, inicialmente, em primeira aproximação, que a passagem meridiana do Sol ocorre às 1200 (Hleg) e calcula-se o intervalo de tempo entre este instante e o instante em que foi determinada a posição pela manhã.

Teremos então:

$$\begin{array}{r}
 \text{Hleg}_2 = 12^{\text{h}} 00^{\text{m}} \\
 \text{Hleg}_1 = 08^{\text{h}} 50^{\text{m}} \\
 \hline
 \text{I} = 03^{\text{h}} 10^{\text{m}} \cong 3,2^{\text{h}}
 \end{array}$$

Navegou, assim, o navio, durante 3,2 horas, no rumo 160° com a velocidade de 15 nós, desde o instante em que teve determinada a sua posição pela manhã, até o instante previsto para a **passagem meridiana** do Sol. Calculemos agora a posição estimada do navio para este último instante. Teremos, pela Tábua do Ponto, ou pela resolução das equações da **derrota loxodrômica**:

$$\begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l} \text{R} = 160^{\circ} \\ \text{dist} = 48' \end{array} \right\} \begin{array}{l} \Delta \varphi = 45,1' \text{ S} \\ \text{ap} = 16,4' \text{ E} \end{array} \\
 \left. \begin{array}{l} \varphi \text{m} = 25^{\circ} 40,6' \text{ S} \\ \text{ap} = 16,4' \text{ E} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \Delta \lambda = 18,2' \text{ E} \end{array} \\
 \begin{array}{l} \varphi_1 = 25^{\circ} 18,0' \text{ S} \\ \Delta \varphi = 45,1' \text{ S} \\ \hline \varphi_2 = 26^{\circ} 03,1' \text{ S} \\ \varphi_1 = 25^{\circ} 18,0' \text{ S} \\ \hline 2\varphi \text{m} = 51^{\circ} 21,1' \text{ S} \\ \varphi \text{m} = 25^{\circ} 40,6' \text{ S} \end{array}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \lambda_1 = 035^\circ 50,0' \text{ W} \\ \Delta\lambda = \quad 18,2' \text{ E} \\ \hline \lambda_2 = 035^\circ 31,8' \text{ W} \end{array}$$

Posição estimada do navio às 1200:

$$\begin{array}{l} \varphi_e = 26^\circ 03,1' \text{ S} \\ \lambda_e = 035^\circ 31,8' \text{ W} = 02^h 22^m 07^s \text{ W} \end{array}$$

Para esta **posição estimada** do navio, calculamos, então, a **Hora Legal** da passagem meridiana, tomando como ponto de partida a HVL da ocorrência do fenômeno (HVL = 12^h).

Teremos:

$$\begin{array}{r} \text{HVL} = 12^h 00^m 00^s \\ - \text{ET} = + \quad 03^m 26^s \\ \hline \text{HML} = 12^h 03^m 26^s \\ \quad \lambda = 02^h 22^m 07^s \text{ W} \\ \hline \text{HMG} = 14^h 25^m 33^s \\ \text{Fuso} = 02^h \quad \quad \quad (\text{O}) \\ \hline \text{Hleg} = 12^h 25^m 33^s \cong 12^h 26^m \end{array}$$

Para a solução do problema, havíamos, inicialmente, admitido que a **passagem meridiana** do Sol ocorreria às 1200 (Hleg). Concluimos, entretanto, diante do resultado encontrado, que a mesma ocorrerá na Hleg 1226. Calculemos, então, o **caminho em longitude** percorrido pelo navio no intervalo de tempo de 26 minutos:

$$\Delta\lambda = 2,37' \text{ E} = 9,5^s \text{ E}$$

Tal diferença (9,5^s) em nada alteraria o cálculo acima, uma vez que a Hleg da Pmd é arredondada para o minuto inteiro. Assim, não seria necessária uma segunda aproximação no cálculo.

Os processos precisos e outros métodos aproximados para cálculo do instante da passagem meridiana do Sol são apresentados no Apêndice a este Capítulo.

25.4 DETERMINAÇÃO DA LATITUDE MERIDIANA

Conforme visto anteriormente, a **Latitude meridiana** (Latitude do observador obtida pela observação do Sol na **passagem meridiana**) é calculada pela combinação da **Declinação do Sol (Dec)** no instante da observação da **altura meridiana (a)** com a **distância zenital meridiana do astro (z = 90° - a)** no mesmo instante.

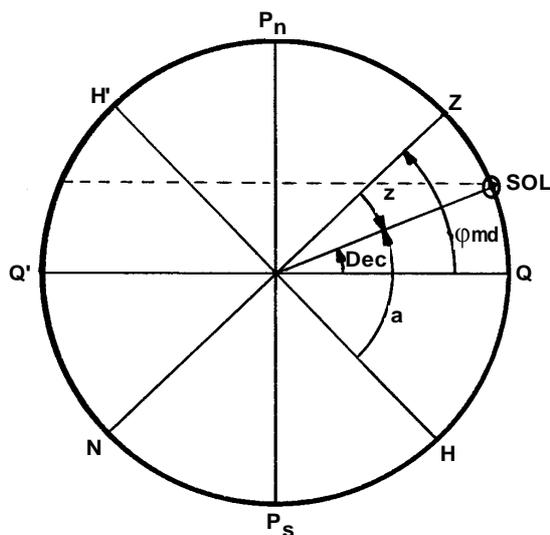
Vejamos agora os casos possíveis de ocorrer.

1º caso: Latitude e Declinação de mesmo nome e Latitude maior que a Declinação.

Neste caso, ilustrado na figura 25.2, temos:

Latitude meridiana = Dec + z

Figura 25.2 - Determinação da Latitude Meridiana

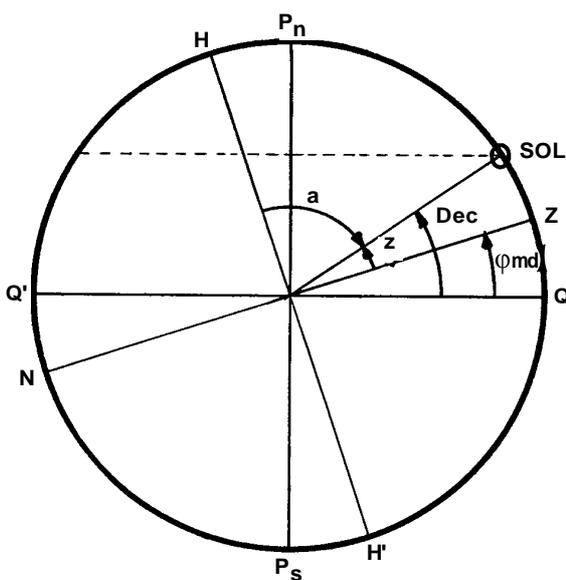


$$\varphi_{md} = Dec + z$$

2º caso: Latitude e Declinação de mesmo nome e Declinação maior que a Latitude.
Como mostrado na figura 25.3, temos:

$$\text{Latitude meridiana} = Dec - z$$

Figura 25.3 - Determinação da Latitude Meridiana



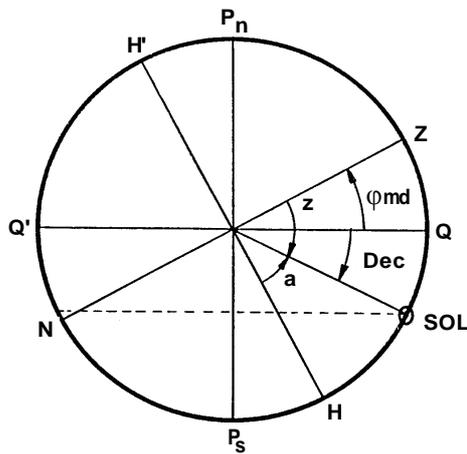
$$\varphi_{md} = Dec - z$$

3º caso: Latitude e Declinação de nomes contrários.

Conforme ilustrado na figura 25.4, temos:

$$\text{Latitude meridiana} = z - \text{Dec}$$

Figura 25.4 - Determinação da Latitude Meridiana



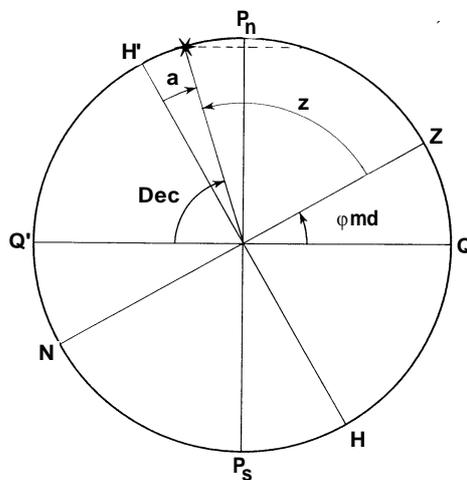
$$\varphi_{md} = z - \text{Dec}$$

4º caso: Passagem meridiana inferior ($t_1 = 180^\circ$), com o astro na condição de circumpolar visível.

Como mostrado na figura 25.5, temos:

$$\text{Latitude meridiana} = 180^\circ - (\text{Dec} + z)$$

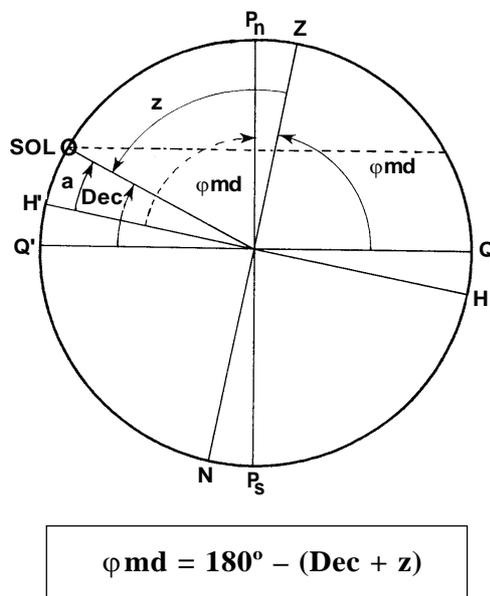
Figura 25.5 - Determinação da Latitude Meridiana



$$\varphi_{md} = 180^\circ - (\text{Dec} + z)$$

No caso do Sol, esta situação só ocorrerá em Latitudes iguais ou superiores às dos círculos polares ártico e antártico (66,5° N e 66,5° S, respectivamente), quando a Declinação do Sol e a Latitude do observador tiverem o mesmo nome e desde que a Latitude seja $\geq 90^\circ - \text{Dec}$, conforme mostrado na figura 25.6.

Figura 25.6 – Passagem Meridiana Inferior do Sol (Astro Circumpolar Visível)



OBSERVAÇÕES:

a. A **distância zenital do Sol (z)** no instante da **passagem meridiana** é, como vimos, o complemento da **altura meridiana do Sol (a)**, isto é, $z = 90^\circ - a$. Para se chegar à **altura verdadeira do Sol na passagem meridiana (a)**, é necessário aplicar à **altura instrumental (ai)** todas as correções anteriormente estudadas.

b. Na maioria dos casos (exceto quando a **Declinação do Sol** é próxima de **zero**), após calcular a distância zenital do Sol ($z = 90^\circ - a$) e sua Declinação (Dec) no instante da **passagem meridiana**, pode-se deduzir qual a operação matemática envolvendo **z** e **Dec** que é necessário efetuar para produzir um valor de Latitude meridiana próximo à nossa Latitude estimada por ocasião da observação.

c. Ademais, uma vez que a **Latitude estimada** do observador é sempre conhecida, o cálculo do valor da **Latitude meridiana** será bastante facilitado se for construído um gráfico semelhante aos acima apresentados.

d. Por outro lado, sabendo-se que a **Latitude meridiana** resulta da soma algébrica da **Declinação** com a **distância zenital meridiana** (isto é, que $\varphi_{md} = \pm \text{Dec} \pm z$), a solução do problema também é tornada possível se for estabelecida uma convenção de sinais a ser aplicada aos termos dessa expressão. Assim, a **Declinação** será **positiva** no **Hemisfério Norte** e **negativa** no **Hemisfério Sul**. Quanto à **distância zenital**, o seu sinal será **positivo** ou **negativo**, conforme o pólo para o qual o observador dá as costas no momento da observação seja **N** ou **S** (ou seja, se o Sol estiver ao Sul do observador na **passagem meridiana**, a **distância zenital (z)** será **positiva**; se estiver ao **Norte** do observador, **z** será **negativa**). A **Latitude meridiana** obtida guardará a mesma convenção de sinais que a **Declinação**, isto é, será **positiva** no **Hemisfério Norte** e **negativa** no **Hemisfério Sul**.

Em resumo, para se determinar a **Latitude meridiana**, observa-se o **Sol** (ou qualquer outro astro) na **passagem meridiana**, corrige-se a altura e obtém-se a **distância zenital meridiana** ($z = 90^\circ - \text{altura meridiana}$) que, combinada com a **Declinação** correspondente ao instante da observação, fornecerá a **Latitude** do observador.

A **altura meridiana** do Sol corresponde quase sempre, na prática, à altura máxima observada (**altura de culminação**). Mas, sempre que a componente da velocidade do navio no sentido N-S (segundo o meridiano) for superior aos limites indicados, em função da Latitude, na tabela abaixo, a altura máxima não pode ser tomada como meridiana.

LIMITES DA VELOCIDADE EM LATITUDE (NO SENTIDO N-S) PARA QUE A ALTURA MÁXIMA POSSA SER CONSIDERADA COMO MERIDIANA			
LATITUDE	VALOR MÁXIMO DA COMPONENTE SEGUNDO O MERIDIANO DA VELOCIDADE DO NAVIO	LATITUDE	VALOR MÁXIMO DA COMPONENTE SEGUNDO O MERIDIANO DA VELOCIDADE DO NAVIO
10°	27 nós	50°	17 nós
20°	24	55°	16
30°	21	60°	14
40°	19	65°	13
45°	18	70°	12

Neste caso (navio com rumo geral **Norte** ou **Sul** e **velocidade maior que 20 nós**), se o navio está navegando na direção do Sol (ou seja, aproximando-se do ponto sub-solar), a altura aparente do Sol parece estar aumentando na passagem meridiana, e a altura máxima ocorrerá após a passagem meridiana. Se o navio está navegando na direção oposta ao Sol (isto é, afastando-se do ponto sub-solar), a altura aparente do Sol parece estar decrescendo na passagem meridiana, e a altura máxima ocorrerá antes da passagem meridiana.

Em tal situação deve ser adotado um dos procedimentos a seguir recomendados:

1º. Considerar a altura máxima como altura circumeridiana, registrando a hora do cronômetro correspondente ao instante da observação e efetuando o cálculo da circumeridiana, conforme adiante explicado; ou

2º. calcular o valor da altura meridiana com auxílio da expressão:

$$amd = ac - \frac{(\Delta \delta - \Delta \varphi)^2}{4\alpha}$$

(Para maiores explicações a respeito, consultar o Apêndice a este Capítulo).

Este caso, entretanto, raramente ocorre na prática da Navegação Astronômica. O normal é considerar a altura máxima do Sol (**altura de culminação**) como correspondente à **passagem meridiana** do astro.

25.5 EXEMPLOS DE CÁLCULO DA LATITUDE MERIDIANA

1º PROBLEMA:

1. Determinar a **Hora Legal (Hleg)** da **passagem meridiana do Sol** no dia 26 de setembro de 1993, para um observador na posição estimada:

Latitude 20° 05,0' S

Longitude 023° 45,0' W = 01^h 35^m W

SOLUÇÃO:

a. No Almanaque Náutico, para 26/09/93 (ver a figura 23.4), obtém-se:

$$\text{HML (Pmd)} = 11^{\text{h}} 51^{\text{m}}$$

b. Transformação da HML em Hleg:

$$\begin{array}{r} \text{HML (Pmd)} = 11^{\text{h}} 51^{\text{m}} \\ \text{Long} = 01^{\text{h}} 35^{\text{m}} \text{ W} \\ \hline \text{HMG} = 13^{\text{h}} 26^{\text{m}} \\ \text{Fuso} = 02^{\text{h}} \quad (\text{O}) \\ \hline \text{Hleg} = 11^{\text{h}} 26^{\text{m}} \end{array}$$

2. Sabendo-se que o navio está no rumo 210° com a velocidade de 25 nós, informar se a **altura de culminação** do Sol pode ser tomada como **altura meridiana**.

$$\text{COMPONENTE N-S} = \text{vel} \cdot \cos R = 25 \cdot \cos 210^{\circ} = 21,7 \text{ nós.}$$

Consultando a tabela apresentada no item anterior, verifica-se que, para a Latitude de 20° , o valor máximo da componente N-S (segundo o meridiano) da velocidade do navio para que a **altura de culminação** possa ser considerada como **altura meridiana** é de 24 nós. Assim, no presente exemplo, a **altura máxima (altura de culminação)** pode ser tomada como **altura meridiana**.

3. Às HCr = $13^{\text{h}} 26^{\text{m}} 18^{\text{s}}$ da mesma data, o navegante observa o **limbo inferior** do Sol na **passagem meridiana**, medindo com o sextante a **altura instrumental (ai)** de $71^{\circ} 00,7'$.

Sabendo-se que:

$$\begin{array}{l} \text{Erro instrumental do sextante: } \quad \text{ei} = - 1,4' \\ \text{Elevação do olho do observador: } \quad \text{Elev} = 14,0\text{m} \\ \text{Estado Absoluto do cronômetro: } \quad \text{Ea} = \text{ZERO} \end{array}$$

Calcular a **Latitude meridiana** do observador.

SOLUÇÃO:

a. Cálculo da **altura verdadeira (a)** do Sol na **passagem meridiana (altura meridiana)**:

$$\begin{array}{r} \text{ai} = 71^{\circ} 00,7' \\ \text{ei} = - 01,4' \\ \hline \text{ao} = 70^{\circ} 59,3' \\ \text{dp ap (14,0m)} = - 6,6' \\ \hline \text{a ap} = 70^{\circ} 52,7' \\ \text{c} = + 15,6' \\ \hline \text{a} = 71^{\circ} 08,3' \end{array}$$

b. Cálculo da **distância zenital meridiana (z)** do Sol:

$$z = 90^{\circ} - a = 18^{\circ} 51,7'$$

c. Cálculo da **Declinação (Dec)** do Sol no instante da observação:

$$\begin{array}{l} 26/09/93 - 13^{\text{h}}: \text{Dec} = 01^{\circ} 22,4' \text{ S (d} = +1,0') \\ \text{Acréscimo: } \quad \text{c} = + 0,4' \\ 13^{\text{h}} 26^{\text{m}} 18^{\text{s}}: \quad \text{Dec} = 01^{\circ} 22,8' \text{ S} \end{array}$$

d. Cálculo da **Latitude meridiana**:

Latitude e Declinação de mesmo nome (ambas Sul); e
Latitude maior que a Declinação. Assim:

$$\text{Lat md} = \text{Dec} + z$$

$$\text{Dec} = 01^\circ 22,8'$$

$$z = 18^\circ 51,7'$$

$$\text{Lat md} = 20^\circ 14,5' \text{ S}$$

4. Qual o **Azimute do Sol** na passagem meridiana?

Já vimos que o Azimute do Sol na passagem meridiana é sempre exatamente 000° ou 180° .

Neste caso, o observador está na Latitude $20^\circ 14,5' \text{ S}$, enquanto que a Declinação do Sol é $01^\circ 22,8' \text{ S}$. Portanto, o Sol está ao **Norte do Zênite do observador**. Desta forma, seu Azimute será 000° na **passagem meridiana**.

2º PROBLEMA:

1. Determinar a **Hora Legal (Hleg)** da **passagem meridiana do Sol** no dia 08 de novembro de 1993 (Hora de Verão em uso), para um observador na posição estimada:

$$\text{Latitude } 10^\circ 15,0' \text{ N}$$

$$\text{Longitude } 040^\circ 45,0' \text{ W} = 02^{\text{h}} 43^{\text{m}} \text{ W}$$

SOLUÇÃO:

a. No Almanaque Náutico, para 08/11/93 (ver a figura 24.4), obtém-se:

$$\text{HML (Pmd)} = 11^{\text{h}} 44^{\text{m}}$$

b. Transformação da HML em Hleg:

$$\text{HML (Pmd)} = 11^{\text{h}} 44^{\text{m}}$$

$$\text{Long} = 02^{\text{h}} 43^{\text{m}} \text{ W}$$

$$\text{HMG} = 14^{\text{h}} 27^{\text{m}}$$

$$\text{Fuso} = 02^{\text{h}} \quad (\text{O}) \quad (\text{Fuso de Verão})$$

$$\text{Hleg} = 12^{\text{h}} 27^{\text{m}} \quad (\text{Hora de Verão})$$

2. Sabendo-se que o navio está no rumo 045° com a velocidade de 30 nós, informar se a **altura de culminação do sol** pode ser tomada como **altura meridiana**.

$$\text{COMPONENTE N-S} = \text{vel} \cdot \cos R = 30 \cdot \cos 45^\circ = 21,2 \text{ nós.}$$

Consultando a tabela apresentada no item anterior, verifica-se que, para a Latitude de 10° , o valor máximo da componente N-S (segundo o meridiano) da velocidade do navio para que a **altura de culminação** possa ser considerada como **altura meridiana** é de 27 nós. Desta forma, no presente problema, a **altura máxima (altura de culminação)** pode ser tomada como **altura meridiana**.

3. Às HCr = $14^{\text{h}} 25^{\text{m}} 43,0^{\text{s}}$ da mesma data, o navegante observa o **limbo inferior** do Sol na **passagem meridiana**, medindo com o sextante a **altura instrumental (ai)** de $63^\circ 04,4'$.

Sabendo-se que:

$$\text{Erro instrumental do sextante: } e_i = + 2,5'$$

$$\text{Elevação do olho do observador: Elev} = 10,0\text{m}$$

$$\text{Estado Absoluto do cronômetro: } E_a = + 00^{\text{h}} 02^{\text{m}} 12,0^{\text{s}}$$

Calcular a **Latitude meridiana** do observador.

SOLUÇÃO:

a. Cálculo da **altura verdadeira (a)** do Sol no instante da **passagem meridiana (altura meridiana)**:

$$\begin{array}{r}
 ai = 63^{\circ} 04,4' \\
 ei = + 02,5' \\
 \hline
 ao = 63^{\circ} 06,9' \\
 dp \text{ ap } (10,0m) = - 05,6' \\
 \hline
 a \text{ ap } = 63^{\circ} 01,3' \\
 c = + 15,7' \\
 \hline
 a = 63^{\circ} 17,0'
 \end{array}$$

b. Cálculo da **distância zenital meridiana (z) do Sol**:

$$z = 90^{\circ} - a = 26^{\circ} 43,0'$$

c. Cálculo da **Declinação (Dec) do Sol** no instante da observação:

$$\begin{array}{r}
 HCr = 14^{\text{h}} 25^{\text{m}} 43,0^{\text{s}} \\
 Ea = + 00^{\text{h}} 02^{\text{m}} 12,0^{\text{s}} \\
 \hline
 HMG = 14^{\text{h}} 27^{\text{m}} 55,0^{\text{s}}
 \end{array}$$

$$08/11/93 - 14^{\text{h}}: \text{Dec} = 16^{\circ} 40,7'S \text{ (d} = + 0,7')$$

$$\begin{array}{r}
 \text{Acréscimo: } c = + 0,3' \\
 \hline
 14^{\text{h}} 27^{\text{m}} 55,0^{\text{s}}: \text{Dec} = 16^{\circ} 41,0' S
 \end{array}$$

d. Cálculo da **Latitude meridiana**:

Latitude e Declinação de nomes contrários (Lat N e Dec S). Portanto:

$$\begin{array}{r}
 \text{Lat md} = z - \text{Dec} \\
 z = 26^{\circ} 43,0' \\
 \text{Dec} = 16^{\circ} 41,0' \\
 \hline
 \text{Lat md} = 10^{\circ} 02,0' N \text{ (Hleg} = 1228)
 \end{array}$$

4. Qual o **Azimute do Sol** na passagem meridiana?

O **Azimute do Sol** na **passagem meridiana** é sempre exatamente 000° ou 180° .

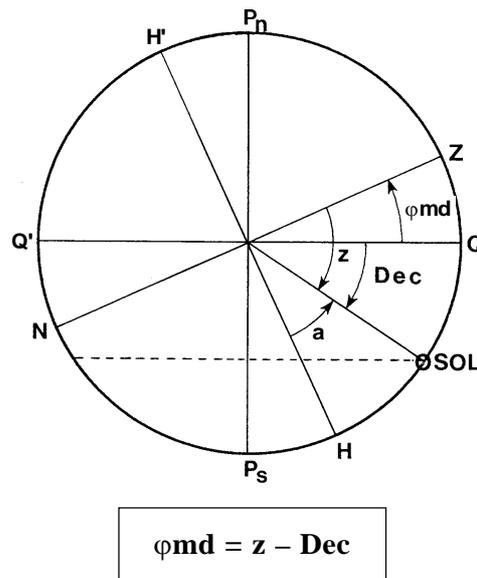
Neste caso, o observador está na Latitude $10^{\circ} 02,0' N$, enquanto que a Declinação do Sol é $16^{\circ} 41,0' S$. Assim sendo, o Sol está ao Sul do Zênite do observador. Portanto, seu Azimute na passagem meridiana será 180° .

5. Preparar um gráfico representativo da situação relativa Sol–Observador no instante da passagem meridiana.

O gráfico representativo está mostrado na figura 25.7, onde se verifica que, realmente:

$$\text{Lat md} = z - \text{Dec}$$

Figura 25.7 – Situação Relativa Sol-Observador no Instante da Passagem Meridiana



OBSERVAÇÕES FINAIS:

a. A observação do Sol na **passagem meridiana** para determinação da **Latitude do observador** é uma das operações mais importantes da **Navegação Astronômica**. Era o procedimento padrão do navegador antes da invenção de cronômetros precisos. Ademais, é um método que pode ser usado em navegação em balsas salva-vidas, pois dispensa cálculos e plotagens complexas (como vimos, a **Latitude meridiana** é obtida simplesmente pela combinação da **Declinação do Sol** com sua **distância zenital** no instante da **passagem meridiana**).

b. Normalmente, o navegador, após determinar sua **linha de posição de Latitude** (resultante, como vimos, da observação do Sol na **passagem meridiana**), obtém sua “posição ao meio dia” (verdadeiro), transportando para o instante da **passagem meridiana** a “**reta da manhã**” (linha de posição obtida da observação do Sol pela manhã), com base na navegação estimada executada entre as duas observações. Da mesma forma, a **linha de posição de Latitude** pode ser transportada para o instante de observação da “**reta da tarde**”, para obtenção de uma nova posição, aproximadamente na metade do intervalo de tempo entre a meridiana e o crepúsculo vespertino.

c. Estudamos apenas a determinação da **Latitude** pela **observação do Sol** na **passagem meridiana**. Entretanto, a Latitude do observador pode ser obtida pela observação de qualquer outro astro na passagem meridiana. O procedimento para o cálculo é o mesmo adotado para o caso do Sol, isto é, a **Latitude do observador** é obtida pela combinação da **distância zenital meridiana** do astro ($z = 90^\circ - a$) e de sua **Declinação (Dec)** no instante da **passagem meridiana**.

25.6 NORMAS PARA A OBSERVAÇÃO MERIDIANA DO SOL

a. Como vimos, a observação meridiana do Sol é clássica na Navegação Astronômica e sua fama vem da época em que a dificuldade em manter a hora, quando no mar, fazia desta observação a de maior precisão. Tratando-se de um caso particular do “**triângulo de posição**”, no qual o **ângulo horário** se anula, tinham os antigos razão em

transformar a observação meridiana em cúpula do trabalho diário do navegante. Hoje em dia, com a facilidade que há em manter a hora a bordo, tornou-se a meridiana uma observação comum, embora ainda muito importante.

b. O cálculo da meridiana é, inegavelmente, fácil e rápido, mas a sua observação é, por vezes, demorada e cansativa. Partindo da posição observada pela manhã, o navegante deve fazer a previsão da Hora Legal da **passagem meridiana** do Sol, conforme anteriormente explicado. Cerca de 5 minutos antes da hora prevista, o navegante deve estar preparado e já acompanhando o Sol no seu movimento ascendente. É necessário sempre alguma antecedência, porque a hora é prevista com aproximação. Logo que o Sol parar de subir e iniciar seu movimento descendente (diz-se, então, que “mordeu” o horizonte), ler a altura observada e anotar a hora. Fazer, em seguida, o cálculo da **Latitude meridiana**. Muitas vezes, uma nuvem impede que a observação meridiana seja levada a cabo. Aparece, assim, a necessidade da circumeridiana, isto é, da observação do Sol nas proximidades da passagem meridiana.

c. Então, observa-se o astro nas proximidades do meridiano e calcula-se a **circumeridiana**, fazendo-se a **redução ao meridiano** conforme adiante explicado, ou, o que é mais prático, calcula-se a **reta de posição** pelo processo comum. Embora o **Azimute do Sol** nesta situação não seja exatamente 000° ou 180° , estará próximo destes valores e, como a **linha de posição é perpendicular ao Azimute** do astro observado, ela fornecerá, praticamente, a **Latitude do observador**. Em seguida, como vimos, a reta calculada pela manhã é transportada, para obtenção da “posição ao meio dia”, pelo cruzamento com a reta do Sol determinada nas proximidades da **passagem meridiana do astro**.

d. Finalmente, um caso particular de **passagem meridiana do Sol**, que é de observação difícil em qualquer processo, merece especial atenção. Trata-se da observação meridiana, ou nas proximidades do meridiano, quando a Declinação tem valor próximo ao da Latitude do observador e é do mesmo nome. A observação a ser feita é para altura próxima de 90° , podendo mesmo atingir este valor, quando a Latitude e a Declinação forem iguais. É claro que, neste último caso, o Sol passará pelo Zênite e o círculo de altura transforma-se num ponto. O cuidado que se deve ter prende-se, principalmente, à variação muito rápida do Azimute quando nas proximidades da passagem meridiana. Uma grande dificuldade inerente a esta situação é definir corretamente o vertical do astro no instante da observação.

e. O navegante deve dedicar especial cuidado a todas as etapas de determinação da **Latitude meridiana**, observando a altura do Sol com o sextante com o máximo de rigor, garantindo a exatidão das correções da altura medida e do cálculo da **Declinação** do astro no instante da observação, pois os erros cometidos na obtenção da **altura meridiana** e na **Declinação** do Sol se transmitem integralmente (em verdadeira grandeza) ao valor da **Latitude meridiana**.

f. Caso deseje, o navegante poderá efetuar a previsão da **altura** do Sol por ocasião de sua **passagem meridiana**. Com a HMG correspondente ao instante previsto para a **passagem meridiana** do Sol, calcula-se o valor da **Declinação** do Sol, com os elementos fornecidos pelo Almanaque Náutico. Combinando-se convenientemente essa Declinação com a **Latitude estimada** para a hora da observação, obtém-se a **distância zenital (z)** em que o Sol estaria na **passagem meridiana**. Em seguida, pode-se calcular a **altura verdadeira (a)** estimada para o Sol, pois sabemos que $z = 90^\circ - a$. Como normalmente observa-se o **limbo inferior** do Sol, pode-se obter, na tabela de Correção

O **tempo limite** pode ser expresso como sendo o número de minutos dentro dos quais, antes ou depois da passagem do Sol pelo meridiano, a variação de sua altura é proporcional ao tempo. Este **tempo limite** da **observação circumeridiana** é obtido em função de α , isto é, da variação que sofre a altura de um astro no intervalo de tempo de um minuto, anterior ou posterior ao instante da sua passagem meridiana.

O **tempo limite** pode ser obtido através da EXTRA-MERIDIANA TÁBUA IV, reproduzida na figura 25.8, em função da Latitude estimada e da Declinação do Sol. Entra-se na Tábua IV com a Latitude estimada do observador como argumento vertical e a Declinação do Sol como argumento horizontal, obtendo-se, no corpo da tábua, o valor do **tempo limite**, em minutos, interpolando-se mentalmente quando necessário. A parte superior da tábua informa os valores do **tempo limite** para Latitude e Declinação de nomes contrários; a parte inferior, para Latitude e Declinação de mesmo nome.

EXEMPLO:

Determinar o **tempo limite** da **observação circumeridiana** para a posição estimada Latitude $15^{\circ} 00,0' N$ e Longitude $033^{\circ} 55,0' W$, no dia 07/11/1993.

SOLUÇÃO:

$$\begin{array}{r} 07/11/93 - \quad \text{HML Pmd} = 11^{\text{h}} 44^{\text{m}} \\ \quad \text{Longitude } 033^{\circ} 55,0' W = 02^{\text{h}} 16^{\text{m}} W \\ \hline \text{HMG Pmd} = 14^{\text{h}} 00^{\text{m}} \end{array}$$

$$07/11/93 - \quad \text{HMG} = 1400 \rightarrow \quad \left. \begin{array}{l} \text{Dec} = 16^{\circ} 23,3' S \\ \text{Lat} = 15^{\circ} 00,0' N \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{nomes} \\ \text{contrários} \end{array}$$

Pela Tábua: **tempo limite (T lim)** = 26 minutos

Isto significa que uma **observação circumeridiana** pode ser feita e reduzida ao meridiano dentro de um intervalo de tempo igual ou menor que 26 minutos, antes ou depois da passagem meridiana do Sol.

Entretanto, na prática da Navegação Astronômica, pode-se dispensar a entrada na referida tábua, procedendo do seguinte modo para o cálculo do **tempo limite**:

- se a **Latitude** e a **Declinação** forem de nomes contrários, somam-se os valores absolutos dos graus redondos de φ e δ ; o resultado será o valor do **tempo limite** em minutos; e
- se a **Latitude** e a **Declinação** forem de mesmo nome, subtrai-se o menor valor do maior e o resultado será, da mesma forma, o **tempo limite** expresso em **minutos**.

Em qualquer caso, o resultado será suficientemente aproximado.

EXEMPLOS:

1. Calcular, pelo processo aproximado, o **tempo limite** da **observação circumeridiana** com os dados do problema anterior.

SOLUÇÃO:

Como vimos na solução do problema anterior, tem-se HMG Pmd = $14^{\text{h}} 00^{\text{m}}$.

$$\text{HMG} = 1400 \rightarrow \quad \left. \begin{array}{l} \text{Dec} = 16^{\circ} 23,3' S \cong 16^{\circ} S \\ \text{Lat} = 15^{\circ} 00,0' N = 15^{\circ} N \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{nomes} \\ \text{contrários} \end{array}$$

tempo limite (T lim) = 31 minutos

Figura 25.8 - Tempo Limite para Observação Circumeridiana

EXTRA-MERIDIANA TÁBUA IV							
TEMPO LIMITE PARA OBSERVAÇÃO CIRCUMERIDIANA							
LATITUDE E DECLINAÇÃO DE NOMES CONTRÁRIOS							
LATITUDE	DECLINAÇÃO						
	4°	8°	12°	16°	20°	24°	
°	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
5	8	10	14	17	21	26	
10	12	15	18	21	25	31	
15	15	20	24	26	30	35	
20	20	25	27	30	33	38	
25	25	30	33	35	38	44	
30	30	35	37	40	43	48	
35	35	38	42	45	48	54	
40	42	46	50	53	56	60	
45	50	53	57	60	63	67	
50	59	62	65	69	72	75	
55	70	72	76	80	83	86	
60	82	84	88	91	94	96	
LATITUDE E DECLINAÇÃO DE MESMO NOME							
LATITUDE	DECLINAÇÃO						
	0°	4°	8°	12°	16°	20°	24°
°	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
0	—	—	8	11	14	17	22
5	—	—	—	7	10	14	18
10	10	6	—	—	6	10	14
15	14	10	5	—	—	5	9
20	18	14	10	8	—	—	—
25	22	17	15	13	10	5	—
30	27	25	20	16	14	10	6
35	32	30	26	22	18	15	13
40	40	36	33	30	26	22	18
44	45	40	38	36	32	28	24
48	52	48	45	41	38	35	31
52	60	56	54	50	47	43	40
56	70	67	63	60	56	53	50
60	80	76	74	72	69	66	63

A determinação pela EXTRA-MERIDIANA TÁBUA IV nos havia fornecido o valor de 26 minutos para o **tempo limite**. Como se vê, para a prática da navegação o processo aproximado pode ser usado para obtenção do **T lim**.

2. Calcular, pelo processo aproximado, o **tempo limite da observação circumeridiana** para a posição estimada Latitude 10° 14,0' S e Longitude 032° 06,0' W, no dia 25 de setembro de 1993.

$$\begin{array}{r} 25/09/93 - \quad \text{HML Pmd} = 11^{\text{h}} 52^{\text{m}} \\ \quad \text{Longitude } 032^{\circ} 06,0' \text{ W} = 02^{\text{h}} 08^{\text{m}} \\ \hline \text{HMG Pmd} = 14^{\text{h}} 00^{\text{m}} \end{array}$$

$$25/09/93 - \quad \text{HMG} = 1400 \rightarrow \left. \begin{array}{l} \text{Dec} = 01^{\circ} 00,0' \text{ S} = 01^{\circ} \text{ S} \\ \text{Lat} = 10^{\circ} 14,0' \text{ S} \cong 10^{\circ} \text{ S} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{mesmo} \\ \text{nome} \end{array}$$

tempo limite (T lim) = 9 minutos

Pela EXTRA-MERIDIANA TÁBUA IV, o valor obtido para o **tempo limite** também seria de 9 minutos, o que confirma a validade do processo aproximado.

Tal valor do **tempo limite** significa que uma **observação circumeridiana** poderia ser feita até 9 minutos antes ou depois da **passagem meridiana** do Sol.

Para **redução ao meridiano**, a **altura circumeridiana (a)** deve sofrer uma correção para transformar-se em **altura meridiana (amd)**, por meio da qual, como já foi visto, pode-se calcular a **Latitude meridiana**.

A Astronomia nos demonstra que o valor da correção para **redução ao meridiano** é dado pela expressão

$$\alpha t_1^2$$

onde:

α é a variação que sofre a altura de um astro no intervalo de tempo de 1 minuto, anterior ou posterior ao instante da sua passagem meridiana; e

t_1 é o valor do ângulo no pólo no instante da **observação circumeridiana**.

Assim, a expressão da **altura meridiana** será:

$$a \text{ md} = a + \alpha t_1^2$$

O valor da correção (αt_1^2) pode ser obtido nas tábuas EXTRA-MERIDIANA (TÁBUA I e TÁBUA II), reproduzidas na publicação da Diretoria de Hidrografia e Navegação "DN 4-2, Tábuas para Navegação Astronômica".

Um astro pode ser observado com o sextante dentro de um intervalo de tempo igual ou menor que o **tempo limite (T lim)**, **antes** ou **depois** da sua **passagem meridiana**, e a observação reduzida ao meridiano (mediante a aplicação da correção acima citada), sem o risco de ser cometido um erro superior a 1' na **Latitude** calculada a partir da **altura circumeridiana** obtida.

EXEMPLO:

No dia 26 de setembro de 1993, no instante em que o cronômetro marcava 11^h 47^m 48,0^s, fez-se uma **observação circumeridiana** do Sol, tendo sido registrados os seguintes dados referentes à observação:

$$\begin{array}{ll} \varphi_e = 15^{\circ} 15,1' \text{ S} & E_a = + 01^{\text{h}} 12^{\text{m}} 56,0^{\text{s}} \\ \lambda_e = 018^{\circ} 30,0' \text{ W} & a_i = 76^{\circ} 03,6' \text{ (limbo inferior)} \\ R = 280^{\circ} & e_i = + 2,0' \\ \text{vel} = 10 \text{ nós} & \text{Elev} = 10\text{m} \end{array}$$

Calcular:

- a. O **tempo limite (T lim)** para **observação circumeridiana** (pelo processo aproximado);
- b. a **Latitude** observada e o **instante legal** a que deve ser referida; e
- c. a **Latitude meridiana** e o **instante legal** a que deve ser referida.

SOLUÇÃO:

- a. Cálculo do **tempo limite (T lim)**:

$$\begin{array}{r} 26/09/93 - \quad \text{HML Pmd} = 11^{\text{h}} 51^{\text{m}} 00^{\text{s}} \\ \text{Longitude } 018^{\circ} 30,0' \text{ W} = 01^{\text{h}} 14^{\text{m}} 00^{\text{s}} \text{ W} \\ \hline \text{HMG Pmd} = 13^{\text{h}} 05^{\text{m}} 00^{\text{s}} \end{array}$$

$$26/09/93 - \text{HMG} = 1305 \rightarrow \begin{array}{l} \text{Dec} \cong 01^{\circ} \text{ S (arredondada ao grau inteiro)} \\ \text{Lat} \cong 15^{\circ} \text{ S (arredondada ao grau inteiro)} \\ \hline \text{T lim} = 14 \text{ minutos} \end{array}$$

- b. Cálculo da **Latitude** observada:

$$\begin{array}{r} \text{HCr} = 11^{\text{h}} 47^{\text{m}} 48,0^{\text{s}} \\ \text{Ea} = + 01^{\text{h}} 12^{\text{m}} 56,0^{\text{s}} \\ \hline \text{HMG} = 13^{\text{h}} 00^{\text{m}} 44,0^{\text{s}} \end{array} \quad (\text{HMG da observação circumeridiana})$$

Verifica-se, assim, que o **intervalo de tempo** entre o instante da observação e a hora prevista para a **passagem meridiana** é menor que o **tempo limite**. Assim, a observação pode ser considerada **circumeridiana** e **reduzida ao meridiano**.

Então, calcula-se o valor do **ângulo no pólo (t₁)** correspondente ao instante da observação:

$$\begin{array}{r} \text{HMG} = 13^{\text{h}} 00^{\text{m}} 44,0^{\text{s}} \\ + \text{ET} = + 08^{\text{m}} 42,0^{\text{s}} \\ \hline \text{HVG} = 13^{\text{h}} 09^{\text{m}} 26,0^{\text{s}} \\ \lambda = 01^{\text{h}} 14^{\text{m}} 00,0^{\text{s}} \text{ W} \\ \hline \text{HVL} = 11^{\text{h}} 55^{\text{m}} 26,0^{\text{s}} \\ t_1 = 04^{\text{m}} 34,0^{\text{s}} \text{ E} \end{array}$$

Em seguida, determina-se a correção para **redução ao meridiano** (αt_1^2). Na EXTRA-MERIDIANA TÁBUA I, obtém-se o valor de α entrando com a **Latitude estimada** do observador e a **Declinação** do Sol (usam-se as páginas da esquerda, se a **Latitude** e a **Declinação** são do mesmo nome; e as páginas da direita, se forem de nomes contrários, interpolando a olho, se necessário).

Neste caso:

$$\left. \begin{array}{l} \varphi_e = 15^{\circ} 15,1' \text{ S} \\ \delta = 01^{\circ} 22,4' \text{ S} \end{array} \right\} \text{EXTRA-MERIDIANA TÁBUA I} \\ \alpha = 7,9''$$

Na EXTRA-MERIDIANA TÁBUA II, entra-se com o valor de α obtido da TÁBUA I, como argumento vertical, e com o valor do **ângulo no pólo (t₁)** do instante da **observação circumeridiana**, como argumento horizontal, obtendo-se a correção (αt_1^2), a ser **somada à altura circumeridiana** para reduzi-la ao meridiano.

Entra-se na EXTRA-MERIDIANA TÁBUA II com a parte inteira e com os décimos de α , interpolando, se necessário, e adicionam-se os valores obtidos, para determinar a correção (αt_1^2).

Neste caso:

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 7,9'' \\ t_1 = 04^m 34,0^s \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{EXTRA-MERIDIANA TÁBUA II} \\ \alpha t_1^2 = + 2,7' \end{array}$$

ai =	76° 03,6'	(limbo inferior, 26/09/93)
ei = +	2,0'	
ao =	76° 05,6'	
dp ap (10,0m) = -	05,6'	
a ap =	76° 00,0'	
c = +	15,7'	
a =	76° 15,7'	
$\alpha t_1^2 = +$	2,7'	
a md =	76° 18,4'	
z md =	13° 41,6'	
$\delta =$	01° 22,4' S	
φ md =	15° 04,0' S	
HMG =	13 ^h 00 ^m 44 ^s	
Fuso =	01 ^h	(N)
Hleg =	12 ^h 00 ^m 44 ^s \cong 12 ^h 01 ^m	

A **Latitude** observada (15° 04,0' S) deve ser referida ao instante da observação, ou seja, à Hora Legal (Hleg) 1201.

c. Calculamos, no item anterior, que o **ângulo no pólo local** do Sol no instante da **observação circumeridiana** era de 04^h 34,0^s E, o que significa que a observação foi efetuada cerca de 5 minutos antes da **passagem meridiana**. Para o rumo 280° e velocidade de 10 nós, a **Latitude**, em 1 hora, variará de 1,7' N. A **Declinação** do Sol, por outro lado, para a data em questão varia de 1,0' S por hora. Assim, é evidente que, no intervalo de tempo de 5 minutos, as variações por elas apresentadas não são significativas.

Desta forma, pode-se atribuir à **Latitude meridiana** o mesmo valor encontrado no item **b**, mas referido, neste caso, à **Hora Legal** da **passagem meridiana**, Hleg = 1205.

Neste exemplo, então, admitiu-se que, no intervalo de tempo entre o instante da **observação circumeridiana** e o instante da **passagem meridiana**, a variação da **Latitude** e da **Declinação** são desprezíveis. Assim sendo, a **Latitude observada** pode ser referida à Hleg da **passagem meridiana**.

Se, entretanto, no intervalo de tempo entre o instante da **observação circumeridiana** e o **meio dia verdadeiro** (instante da **passagem meridiana**) o **caminho em Latitude** percorrido pelo navio tiver um valor apreciável, ter-se-á que transportar a **Latitude** obtida para o **meio dia verdadeiro**, na direção do rumo do navio, se a **observação circumeridiana** tiver sido efetuada antes da **passagem meridiana**. Se a observação tiver sido efetuada após a **passagem meridiana**, isto é, depois do **meio dia verdadeiro**, faz-se o transporte na direção oposta (recíproca) do rumo seguido.

EXEMPLO:

No dia 16 de maio de 1993, no instante em que o cronômetro marcava 09^h 01^m 26,0^s, fez-se uma **observação circumeridiana** do Sol, tendo sido registrados os seguintes dados referentes ao instante da observação:

$$\begin{array}{ll} \varphi_e = 08^\circ 00,0' S & E_a = + 02^m 16,0^s \\ \lambda_e = 048^\circ 08,0' E & a_i = 62^\circ 17,3' \text{ (limbo inferior)} \\ R = 180^\circ & e_i = - 1,5' \\ \text{vel} = 20 \text{ nós} & \text{Elev} = 12\text{m} \end{array}$$

Deseja-se saber:

- Qual o **tempo limite** da observação circumeridiana (pelo método aproximado);
- qual a **Latitude** observada e a que instante legal deve ser ela referida; e
- qual a **Latitude meridiana** e a que instante legal deve ser ela referida.

SOLUÇÃO:

$$\begin{array}{l} \text{a.} \quad \text{HCr} = 09^h 01^m 26,0^s \\ \quad \quad \text{Ea} = + 02^m 16,0^s \\ \hline \text{HMG} = 09^h 03^m 42,0^s \rightarrow d = 19^\circ 08,7' N \text{ (obtida no Almanaque Náutico)} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Dec} \cong 19^\circ N \text{ (arredondada para o grau inteiro)} \\ \text{Lat} = 08^\circ S \\ \hline \text{T lim} = 27^m \text{ (pelo processo aproximado)} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{b.} \quad R = 180^\circ \\ \quad \quad \text{Elev} = 12\text{m} \\ \\ \text{HCr} = 09^h 01^m 26,0^s \\ \quad \quad \text{Ea} = + 02^m 16,0^s \\ \hline \text{HMG} = 09^h 03^m 42,0^s \\ \quad \quad \lambda_e = 03^h 12^m 32,0^s E \\ \hline \text{HML} = 12^h 16^m 14,0^s \\ \quad \quad \text{ET} = + 03^m 41,0^s \\ \hline \text{HVL} = 12^h 19^m 55,0^s \\ \quad \quad t_1 = 19^m 55,0^s W \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} \delta = 19^\circ 08,7' N \\ \varphi_e = 08^\circ 00,0' S \end{array} \right\} \text{EXTRA-MERIDIANA TÁBUA I} \\ \alpha = 4,0''$$

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 4,0'' \\ t_1 = 19^m 55,0^s \end{array} \right\} \text{EXTRA-MERIDIANA TÁBUA II} \\ \alpha t_1^2 = 26,5'$$

$$\begin{array}{r} a_i = 62^\circ 17,3' \text{ (limbo inferior)} \\ e_i = - 1,5' \\ \hline a_o = 62^\circ 15,8' \\ \text{dp ap (12,0m)} = - 06,1' \\ \hline a_{ap} = 62^\circ 09,7' \\ c = + 15,5' \\ \hline a = 62^\circ 25,2' \\ \alpha t_1^2 = + 26,5' \\ \hline a_{md} = 62^\circ 51,7' \\ z_{md} = 27^\circ 08,3' \\ \delta = 19^\circ 08,7' N \\ \hline \varphi_{md} = 07^\circ 59,6' S \rightarrow \text{Hleg} = 12^h 04^m \end{array}$$

A Latitude assim calculada ($07^{\circ} 59,6' S$) é a do lugar da observação, devendo, portanto, ser referida ao instante em que foi tomada a **altura circumeridiana** do Sol, ou seja, à Hora Legal 1204.

c. Calculamos, no item anterior, que o ângulo no pólo local (t_1) do Sol no instante da observação era de $19^m 55,0' W$, o que significa que a tomada da altura do astro foi efetuada cerca de 20 minutos após a sua passagem pelo meridiano local. Ora, se a variação da Declinação do Sol nestes 20 minutos pode ser considerada desprezível, o mesmo não acontece com a variação em Latitude que é de $6,7'$. Deveremos, então, com o propósito de calcular a Latitude meridiana, transportar a Latitude obtida ($07^{\circ} 59,6' S$) para o **meio dia verdadeiro** ($H_{leg} = 1144$). Como a observação foi realizada depois do meio dia, faz-se o transporte na direção oposta à do rumo verdadeiro seguido pelo navio, para obter a Latitude.

Teríamos então $07^{\circ} 52,9' S$ para valor da Latitude do navio no instante da passagem meridiana do Sol (1144).

OBSERVAÇÕES:

a. A correção αt_1^2 é obtida da EXTRA-MERIDIANA TÁBUA II em função de α (variação da altura para 1^m de t_1), como argumento vertical, e do ângulo no pólo local (t_1) do instante da observação circumeridiana, como argumento horizontal.

b. Quando se observa um astro próximo da passagem meridiana inferior e dentro do **tempo limite**, o argumento de entrada na tábua para se achar o valor da redução αt_1^2 é $180^{\circ} - t_1$, e não t_1 .

c. A correção para redução ao meridiano (αt_1^2) deve ser **somada** à altura verdadeira circumeridiana superior e **subtraída** da altura verdadeira circumeridiana inferior.

d. O navegante deve ter sempre em mente que a **Latitude** calculada com uma **altura circumeridiana** do Sol, é a do lugar da observação e que ela corresponde à hora da observação. Somente na hipótese do navio permanecer parado ou estar navegando com uma velocidade muito pequena ($\Delta \phi$ desprezível) é que a Latitude calculada pode ser tomada como **Latitude meridiana** e referida ao instante da passagem meridiana do Sol (meio dia verdadeiro).

e. Se, entretanto, entre o instante da **observação circumeridiana** e o **meio dia verdadeiro**, o navio percorrer uma distância significativa, ter-se-á que transportar a Latitude obtida para o meio dia verdadeiro na direção do rumo seguido pelo navio. Se a observação tiver sido efetuada após a passagem meridiana, isto é, depois do meio dia verdadeiro, faz-se o transporte na direção oposta à do rumo verdadeiro seguido.

25.8 LATITUDE PELAS ALTURAS EXTRA-MERIDIANAS

Quando um astro é observado fora do intervalo determinado pelo **tempo limite**, a altura é dita **extra-meridiana** e a Latitude é obtida pelos processos clássicos que envolvem a resolução do “**triângulo de posição**” e a plotagem de **retas de altura**.

25.9 LATITUDE PELA ESTRELA POLAR

25.9.1 RECONHECIMENTO E IDENTIFICAÇÃO DA ESTRELA POLAR

A **Latitude** de um lugar é, como vimos, igual à **altura do pólo elevado** sobre o **horizonte**. Como a **estrela polar**, ou **Polaris** (α **Ursae Minoris**) está muito próxima do **Pólo Norte**, sua **altura** pouco difere da **Latitude** do lugar. Assim, aplicando uma correção à **altura verdadeira** da **estrela polar**, pode-se obter a **Latitude** do observador, para os locais situados no Hemisfério Norte.

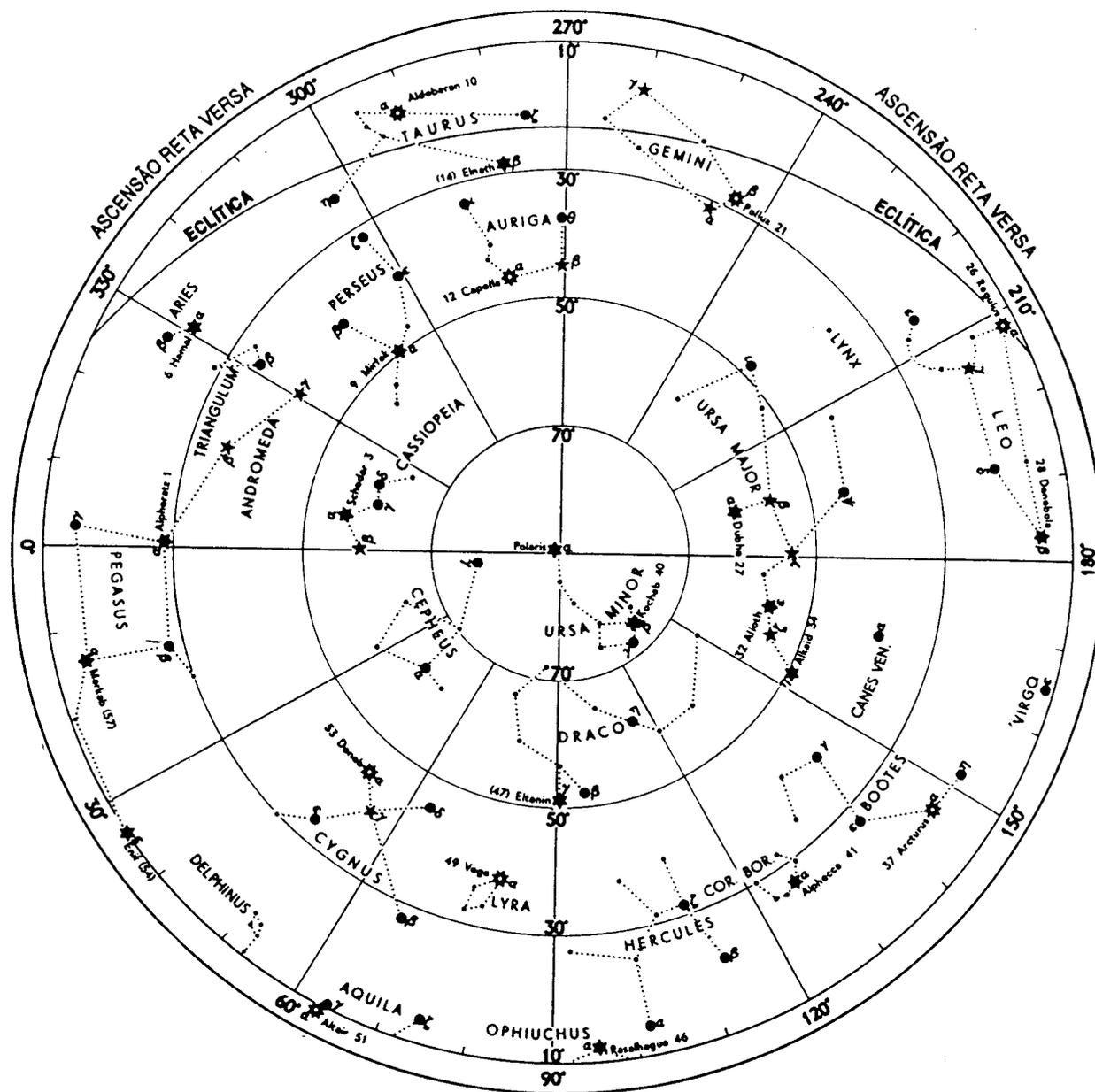
Portanto, em virtude da sua posição especial, nas proximidades do Pólo Norte Celeste, constituindo uma excelente referência astronômica para controle de rumos e determinação da Latitude, torna-se importante para o navegante reconhecer e identificar a **estrela polar** no céu. Ademais, no caso de uso de **Polaris** para determinação da Latitude no mar, o seu reconhecimento e identificação devem ser feitos no curto espaço de tempo em que o astro (uma estrela de segunda magnitude) e o horizonte são simultaneamente visíveis, para que sua altura possa ser medida com o sextante.

A **estrela polar**, ou **Polaris**, é parte da constelação **Ursa Menor**, que não é conspícua até que o céu se torna bastante escuro. Somente **Polaris**, em um extremo da constelação, e **Kochab**, no outro, ambas estrelas de **segunda grandeza**, são usadas pelos navegantes. A maneira mais conveniente de identificar a **estrela polar** é através do grupo de estrelas denominado **Caçarola** ou **Concha Grande** (“**Big Dipper**”), na constelação **Ursa Maior** (“**Ursa Major**”). Este grupo é composto por sete estrelas em forma de uma concha, com a parte côncava (aberta) na direção do **Pólo Norte Celeste** (ver a figura 25.9). O cabo da concha constitui a cauda da **Ursa**. Na realidade, a formação é muito longa para um rabo de urso, mas, de acordo com a mitologia, a cauda foi esticada quando a **Ursa Maior** foi por ela arrastada e colocada no seu lugar no céu.

Entretanto, para uma concha, ou caçarola, a figura é perfeita. Se o navegante aprende a reconhecer a **Caçarola** ou **Concha Grande**, na **Ursa Maior**, ele pode facilmente identificar a **estrela polar**. **Dubhe**, **Alioth** e **Alkaid** são as três estrelas desta constelação mais usadas pelos navegantes. **Dubhe** e **Merak**, as duas estrelas extremas da concha, são chamadas “**as apontadoras**” (“**the pointers**”), pois, se a linha que as conecta for estendida na direção norte, passará muito próximo de **Polaris**, a menos de 1° do **Pólo Norte Celeste** (ver as figuras 25.9 e 25.10). A distância de **Dubhe**, a estrela superior das “**apontadoras**”, para a **estrela polar** é cerca de 5 vezes a distância entre as “**apontadoras**” (que é de aproximadamente 5°, uma referência conveniente para estimar distâncias no céu).

Outra maneira de identificar a **estrela polar** é através de Cassiopéia (“a Rainha no trono”, de acordo com a mitologia), uma constelação do Hemisfério Norte Celeste em forma de “**W**” (ver a figura 25.9). Se a linha definida pelas “**apontadoras**” da **Ursa Maior** for estendida através do pólo, passará muito próximo de **Caph** (β), uma estrela de segunda grandeza em **Cassiopéia**. **Schedar**, o segundo astro da direita do “**W**” da constelação, é uma estrela de segunda grandeza também

Figura 25.9 – Carta Celeste. Estrelas do Hemisfério Norte



- ☀ Estrelas seleccionadas de grandezas 1,5 e mais brilhantes.
- ★ Estrelas seleccionadas de grandezas 1,6 e mais fracas.
- ☆ Outras estrelas tabuladas de grandezas 2,5 e mais brilhantes.
- Outras estrelas tabuladas de grandezas 2,6 e mais fracas.
- Estrelas não tabuladas.

Nota

Os números entre parênteses referem-se às estrelas da lista seleccionadas que não são usadas na PUB. 249 (AP. 3270).

usada pelos navegantes. Uma vez identificada **Cassiopéia**, se o navegante seguir a curva indicada na figura 25.11, por uma distância igual ao dobro da distância entre os extremos do “W”, encontrará e identificará a **estrela polar**. Além disso, se o navegante imaginar uma linha reta entre **Ruchbah**, em **Cassiopéia** e **Polaris** e, então, estender esta linha 1° para o outro lado da **estrela polar**, encontrará a posição do **Pólo Norte Celeste**, conforme mostrado na figura 25.11. Todavia, é normalmente mais conveniente identificar a **estrela polar** pela **Ursa Maior**, conforme anteriormente descrito, pois **Cassiopéia** poderá estar muito baixa ou difícil de se distinguir na bruma que se forma sobre o horizonte, enquanto que a **Ursa Maior** permanece visível na maior parte do tempo para os observadores situados em Latitudes médias do Hemisfério Norte.

Figura 25.10 - Identificação da Estrela Polar pela Ursa Maior

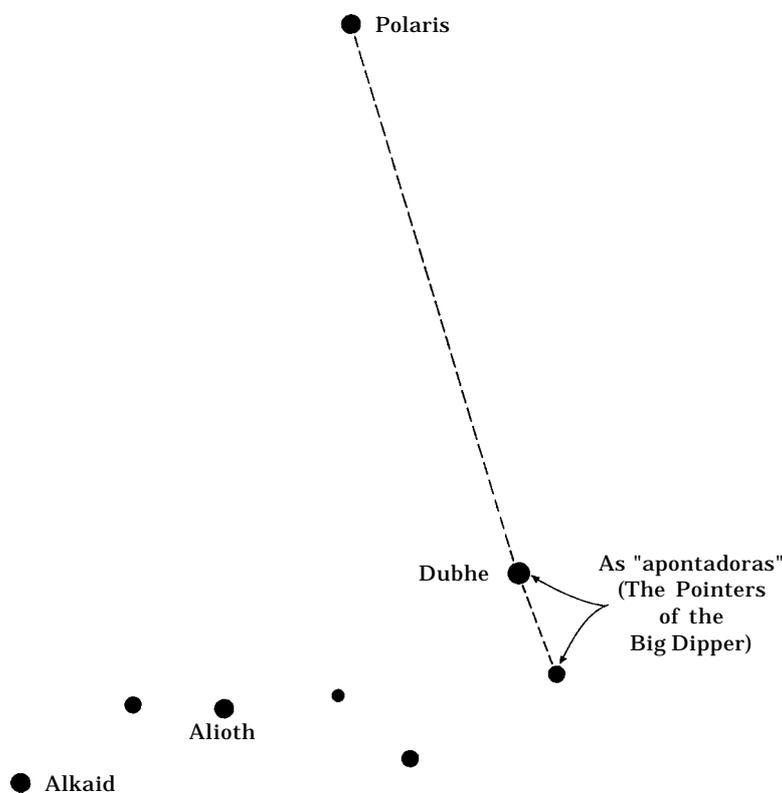
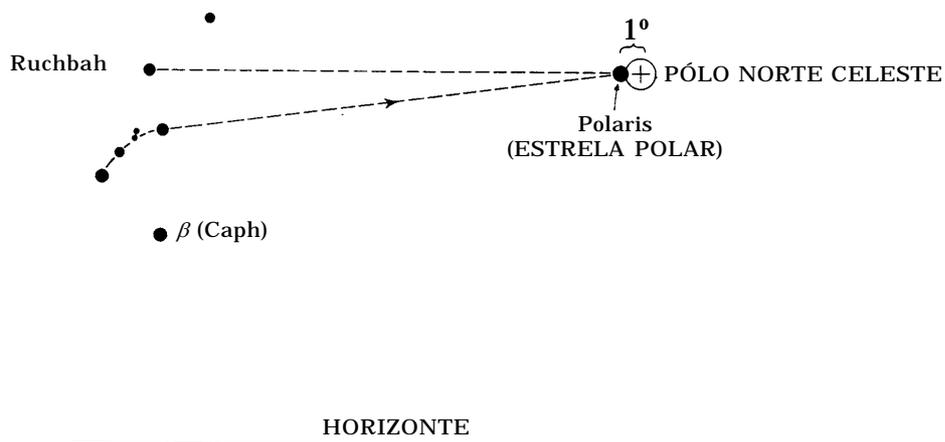


Figura 25.11 - Identificação da Estrela Polar por Cassiopéia

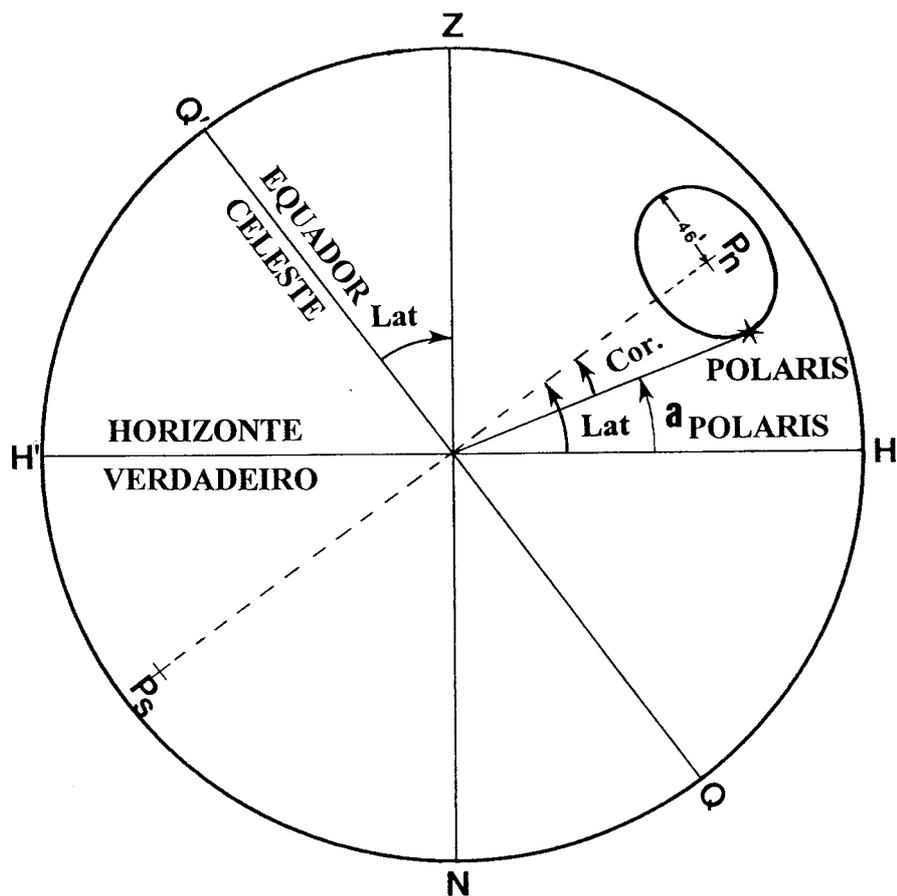


25.9.2 CORREÇÃO DA ALTURA DA ESTRELA POLAR PARA OBTENÇÃO DA LATITUDE

Se a Declinação da **estrela polar** fosse exatamente 90° N, sua **altura verdadeira** seria igual à **Latitude** do observador. Entretanto, a posição média da **estrela polar** (1993) é Dec $89^\circ 14,2'$ N e ARV $323^\circ 39'$. Assim, a **estrela polar** descreve um pequeno **círculo diurno** centrado no Pólo Norte, com uma **distância polar** (raio) de $90^\circ - \text{Dec} \cong 46'$ (ou 46 milhas), conforme mostrado na figura 25.12.

A **correção** a ser aplicada à altura da **estrela polar** para obter a **Latitude** depende do **ângulo horário local (AHL)** do astro e da própria **Latitude** do lugar, além da data da observação.

Figura 25.12 - Latitude pela Estrela Polar



$$\text{Lat} = a^* + \text{Cor}$$

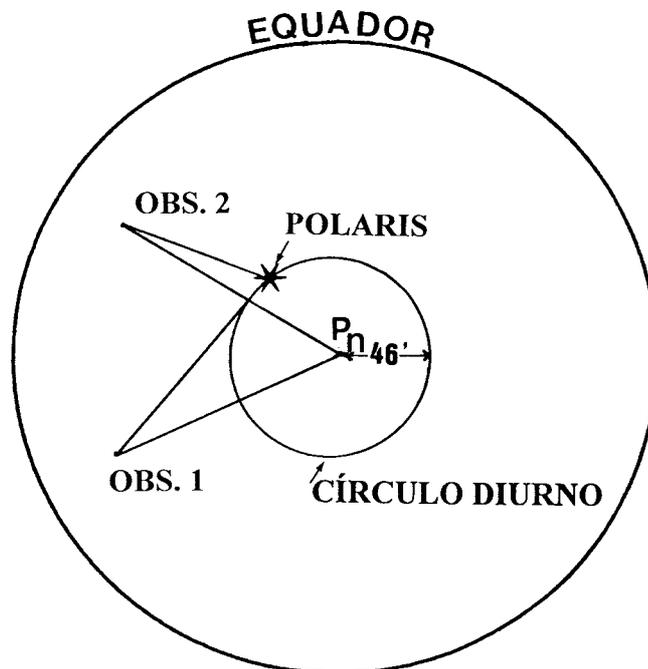
$$\text{CORREÇÃO} = -p \cdot \cos \text{AHL}^* + \frac{1}{2} p \cdot \text{sen } p \cdot \text{sen}^2 \text{AHL}^* \cdot \text{tg Lat}$$

Considere a figura 25.13, que mostra a Esfera Celeste vista do alto, sobre o **Pólo Norte**, com o **círculo diurno** da **estrela polar** e as localizações dos Zênites de dois observadores (afastados de cerca de 90° em Longitude).

Suponhamos que cada observador está usando a **estrela polar** para determinar sua **Latitude**. No instante representado na figura, o **observador 1** poderia obter uma **Latitude** precisa mesmo sem aplicar qualquer correção à altura do astro, porque a **distância zenital** de **Polaris** é praticamente igual à **distância zenital** do **Pólo Norte**. No mesmo instante, o **observador 2**, se não aplicasse a correção à altura da **estrela polar**, obteria uma **Latitude** com um grande erro, pois o astro está exatamente entre ele e o **Pólo Norte**, e o erro seria praticamente igual ao deslocamento da **estrela polar** com relação ao pólo, isto é, $46'$ (o que, neste caso, colocaria o observador cerca de 46 milhas ao Sul de sua Latitude real).

Assim, o erro é função do **AHL** de **Polaris**, sendo máximo quando o AHL é 000° e 180° e mínimo quando o AHL é 090° e 270° . Ademais, a correção varia de cerca de $-46'$ a $+46'$, sendo aditiva à distância zenital de **Polaris** para AHL de 270° a 090° e subtrativa à distância zenital do astro para AHL de 090° a 270° , como pode ser visualizado na figura 25.13.

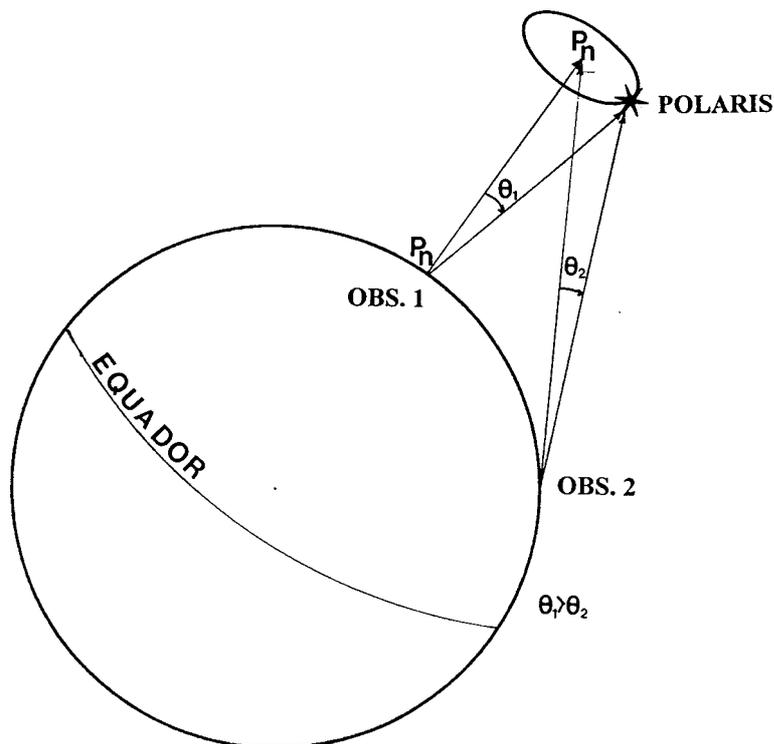
Figura 25.13 – Correção da Altura da Estrela Polar para obter a Latitude



AHL 000° E 180° : CORREÇÃO MÁXIMA
AHL 090° E 270° : CORREÇÃO MÍNIMA

Além disso, a correção depende, também, da **Latitude** em que é feita a observação. Considere a figura 25.14, onde os observadores 1 e 2 estão, no mesmo instante, observando a **estrela polar** de **Latitudes diferentes** na superfície da Terra.

Figura 25.14 - O Deslocamento Angular de Polaris Aumenta com a Latitude



O **observador 1**, no **Pólo Norte** terrestre, observa um deslocamento angular maior entre a **estrela polar** e o **Pólo Norte Celeste**, do que o **observador 2**, em uma Latitude mais baixa. Assim, a correção a ser aplicada à **altura verdadeira** de Polaris para obter a **Latitude** do observador, também depende da **Latitude** do local de onde é feita a observação.

Finalmente, aplica-se, ainda, uma correção em função da **data** (mês), para compensar a variação da posição de **Polaris** em relação à sua posição média adotada, pelo efeito da **aberração**. A aberração é um desvio angular aparente que se observa na posição de um corpo celeste na direção do movimento do observador, causado pela composição da velocidade do observador e da velocidade da luz. A aberração faz com que um astro apareça em uma direção diferente daquela onde realmente se encontra. Como a velocidade orbital da Terra varia com a época do ano, a posição aparente da **estrela polar** também varia, com relação à posição média adotada, e a correção destina-se a compensar tal variação.

A **correção** a ser aplicada à **altura verdadeira** da **estrela polar** para obter a **Latitude** do observador é dada pela fórmula:

$$c = - p \cdot \cos \text{AHL}^* + \frac{1}{2} p \cdot \sin p \cdot \sin^2 \text{AHL}^* \cdot \text{tg Lat}$$

Onde:

p = distância polar de Polaris = $90^\circ - \text{Dec}^*$

AHL^* = Ângulo Horário Local de Polaris = $\text{AHL}_\gamma + \text{ARV}^*$

Lat = Latitude (estimada) da observação

Pela própria fórmula, verifica-se que a correção é **máxima** quando o AHL^* é 000° ou 180° .

Nestas situações:

$$\text{com } AHL^* = 000^\circ \rightarrow c = -p$$

$$\text{com } AHL^* = 180^\circ \rightarrow c = p$$

Da mesma forma, verifica-se que a correção é **mínima** quando o AHL é 090° ou 270° .

Nestes casos:

$$c = \frac{1}{2} p \cdot \text{sen } p \cdot \text{tg Lat}$$

A correção a ser aplicada à **altura verdadeira** da **estrela polar** para obtenção da **Latitude** do observador é dividida em 3 partes, tabuladas nas **Tábuas da Polar**, nas páginas 285 a 287 do **Almanaque Náutico**:

ao – que é função unicamente do **Ângulo Horário Local** da **estrela polar**. Na realidade, entretanto, sabemos que, para a **estrela polar**, como para qualquer outro astro, $AHL^* = AHL_\gamma + ARV^*$. Assim, a correção é tabulada em função do **Ângulo Horário Local** do Ponto Vernal (AHL_γ), expressando o valor de ambos os termos da equação que fornece a correção total, calculados para valores médios da ARV e Declinação da **estrela polar** e para uma **Latitude média** de $50^\circ N$, ajustada pela adição de uma constante igual a $58,8'$, para eliminar valores negativos. A correção **ao** representa 96–98% da correção total a ser aplicada à altura de **Polaris**.

a₁ – que é uma função do AHL_γ e da **Latitude** e representa o excesso do valor do segundo termo da equação que fornece a correção total, sobre seu valor médio para a Latitude de $50^\circ N$, acrescido de uma constante igual a $0,6'$, para torná-lo sempre positivo. Como vimos, a correção **a₁** cresce à medida que aumenta a Latitude do observador.

a₂ – que é uma função do AHL_γ e da **data (mês)** e representa a correção ao primeiro termo da equação que fornece a correção total, relativa ao afastamento de **Polaris** de sua posição média adotada ($ARV = 323^\circ 39'$ e $Dec = 89^\circ 14,2' N$, em 1993), aumentada de uma constante igual a $0,6'$, para eliminar valores negativos.

A soma das constantes adicionadas a **ao**, **a₁** e **a₂** é $60,0'$, ou 1° . Desta forma, a correção será: $ao + a_1 + a_2 - 1^\circ$.

Assim, tem-se:

$$\text{Latitude} = a - 1^\circ + ao + a_1 + a_2$$

Onde: a = altura verdadeira da estrela polar.

Nas **Tábuas da Polar** encontradas no **Almanaque Náutico** (ver a figura 25.15), há uma coluna para cada 10° de AHL_γ e uma seção horizontal para cada uma das três partes da correção. As três partes da correção a ser aplicada à **altura da estrela polar** para obtenção da **Latitude** são baseadas no valor do AHL_γ para o instante da observação, calculado em função da Longitude estimada do observador na ocasião. Entra-se na coluna da tábua que contém o valor do AHL_γ e, na seção superior, obtém-se a correção **ao** correspondente ao valor exato do AHL_γ , fazendo-se a interpolação necessária. A correção **a₁** é obtida da mesma coluna, na seção intermediária da tábua, usando como argumento de entrada o valor tabulado de Latitude mais próximo da Latitude estimada do observador no instante da observação, sem necessidade de qualquer interpolação. A correção **a₂** também é obtida na mesma coluna, na seção inferior da tábua, usando como argumento de entrada o mês correspondente à data em que foi feita a observação, igualmente sem necessidade de qualquer interpolação.

Figura 25.15 - Tábuas da Polar (1993)

LATITUDE E AZIMUTE												
AHL γ	0° - 9°	10° - 19°	20° - 29°	30° - 39°	40° - 49°	50° - 59°	60° - 69°	70° - 79°	80° - 89°	90° - 99°	100° - 109°	110° - 119°
	a ₀											
0	0 22.0	0 17.8	0 14.9	0 13.3	0 13.1	0 14.3	0 16.9	0 20.8	0 25.8	0 31.9	0 38.8	0 46.2
1	21.6	17.5	14.7	13.2	13.2	14.5	17.2	21.2	26.4	32.5	39.5	47.0
2	21.1	17.1	14.5	13.1	13.2	14.7	17.6	21.7	27.0	33.2	40.2	47.8
3	20.7	16.8	14.3	13.1	13.3	15.0	17.9	22.2	27.6	33.9	41.0	48.6
4	20.2	16.5	14.1	13.0	13.4	15.2	18.3	22.7	28.1	34.6	41.7	49.4
5	0 19.8	0 16.2	0 13.9	0 13.0	0 13.5	0 15.4	0 18.7	0 23.2	0 28.7	0 35.2	0 42.4	0 50.1
6	19.4	15.9	13.8	13.0	13.7	15.7	19.1	23.7	29.4	35.9	43.2	50.9
7	19.0	15.6	13.6	13.0	13.8	16.0	19.5	24.2	30.0	36.6	43.9	51.7
8	18.6	15.4	13.5	13.0	14.0	16.3	19.9	24.7	30.6	37.3	44.7	52.5
9	18.2	15.1	13.4	13.0	14.1	16.6	20.3	25.3	31.2	38.0	45.5	53.3
10	0 17.8	0 14.9	0 13.3	0 13.1	0 14.3	0 16.9	0 20.8	0 25.8	0 31.9	0 38.8	0 46.2	0 54.1
Lat.	a ₁											
0	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3
10	.5	.6	.6	.6	.6	.6	.5	.5	.4	.4	.3	.3
20	.5	.6	.6	.6	.6	.6	.5	.5	.5	.4	.4	.4
30	.5	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.5	.5	.5	.4	.4
40	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
45	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.5	.5
50	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6
55	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.7	.7	.7
60	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.6	.7	.7	.7	.7	.8
62	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
64	.7	.6	.6	.6	.6	.6	.7	.7	.7	.8	.8	.9
66	.7	.6	.6	.6	.6	.6	.7	.7	.8	.8	.9	0.9
68	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0
Mês	a ₂											
Jan	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
Fev	.7	.7	.8	.8	.8	.8	.9	.9	.9	.9	.9	.8
Mar	.5	.6	.6	.7	.8	.8	.8	.9	.9	.9	.9	0.9
Abr	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0
Mai	.3	.3	.4	.4	.5	.5	.6	.7	.7	.8	.9	0.9
Jun	.2	.2	.3	.3	.3	.4	.5	.5	.6	.6	.7	.8
Jul	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6
Ago	.4	.4	.3	.3	.3	.3	.3	.3	.3	.4	.4	.4
Set	.6	.5	.5	.4	.4	.4	.3	.3	.3	.3	.3	.3
Out	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
Nov	0.9	0.9	0.8	.8	.7	.6	.6	.5	.4	.4	.3	.3
Dez	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.3
Lat.	AZIMUTE											
0	0.4	0.3	0.2	0.0	359.9	359.8	359.6	359.5	359.4	359.3	359.3	359.3
20	0.4	0.3	0.2	0.0	359.9	359.7	359.6	359.5	359.4	359.3	359.2	359.2
40	0.5	0.4	0.2	0.0	359.8	359.7	359.5	359.4	359.2	359.1	359.1	359.0
50	0.6	0.4	0.2	0.0	359.8	359.6	359.4	359.2	359.1	359.0	358.9	358.8
55	0.7	0.5	0.3	0.0	359.8	359.6	359.4	359.2	359.0	358.9	358.8	358.7
60	0.8	0.6	0.3	0.0	359.8	359.5	359.3	359.0	358.8	358.7	358.6	358.5
65	1.0	0.7	0.4	0.0	359.7	359.4	359.1	358.8	358.6	358.4	358.3	358.2

$$\text{Latitude} = \text{altura do sextante corrigida} - 1^\circ + a_0 + a_1 + a_2$$

Entra-se na 1ª tabela (linha superior) com o AHL do Ponto Vernal para determinar a coluna a ser usada; cada coluna abrange um intervalo de 10° para o AHL. a₀ se obtém da 1ª tabela, com interpolação mental, usando como argumento o número de unidades do AHL γ medido em graus; a₁ e a₂ são tirados sem interpolação, da 2ª e 3ª tabelas, usando como argumento a latitude e o mês, respectivamente. a₀, a₁ e a₂ são sempre positivos. A última tabela dá o azimute da Polar.

2. Cálculo da **altura verdadeira** da estrela polar:

$$\begin{array}{r}
 ai = 46^{\circ} 12,8' \\
 ei = + 01,6' \\
 \hline
 ao = 46^{\circ} 14,4' \\
 dp\ ap\ (10m) = - 05,6' \\
 \hline
 a\ ap = 46^{\circ} 08,8' \\
 c = - 00,9' \\
 \hline
 a = 46^{\circ} 07,9'
 \end{array}$$

3. Obtenção, nas Tábuas da Polar (figura 25.14), das correções à **altura verdadeira**:

$$\begin{array}{r}
 AHL_{\gamma} = 085^{\circ} 28,1' \rightarrow \\
 Lat\ estimada = 45^{\circ} 22,0' N \rightarrow \\
 mês = setembro \rightarrow
 \end{array}
 \begin{array}{r}
 ao = 00^{\circ} 29,0' \\
 a_1 = 0,6' \\
 a_2 = 0,3' \\
 \hline
 ao+a_1+a_2 = 00^{\circ} 29,9'
 \end{array}$$

4. Cálculo da Latitude:

$$\begin{array}{r}
 a = 46^{\circ} 07,9' \\
 ao+a_1+a_2 = 00^{\circ} 29,9' \\
 \hline
 \Sigma = 46^{\circ} 37,8' \\
 constante = - 01^{\circ} \\
 \hline
 Lat = 45^{\circ} 37,8' N \quad (Hleg = 0526 O)
 \end{array}$$

25.9.4 MODELO DE CÁLCULO PARA OBTENÇÃO DA LATITUDE PELA ESTRELA POLAR

Embora a obtenção da Latitude pela observação e correção da altura da **estrela polar** seja um processo simples, um modelo, ou tipo de cálculo, pode ser conveniente para uso a bordo. O modelo apresentado na figura 25.16 auxilia o cálculo da **Latitude** pela **estrela polar**. O uso do tipo de cálculo será ilustrado pela solução do seguinte exemplo.

No dia 26 de setembro de 1993, na posição estimada Latitude $34^{\circ} 47,0' N$ e Longitude $039^{\circ} 28,0' E$, a **estrela polar** foi observada no **crepúsculo matutino**, obtendo-se os seguintes elementos:

$$ai = 35^{\circ} 43,8' ; HCr = 02^h 15^m 47,0^s$$

Sabendo-se que:

$$Elev = 14,0m ; ei = - 2,4' ; e\ Ea = + 00^h 12^m 03,0^s$$

Calcular a **Latitude** do observador.

SOLUÇÃO: Ver o modelo de cálculo da figura 25.16.

RESPOSTA: Latitude = $35^{\circ} 00,8' N$

Figura 25.16 – Determinação da Latitude pela Estrela Polar

DETERMINAÇÃO DA LATITUDE PELA ESTRELA POLAR

Navio: _____ Data: _____

LATITUDE E AZIMUTE PELA ESTRELA POLAR							
Lat. estimada	34° 47,0'N						
Long. estimada	039° 28,0'E						
Data	26/09/93						
HCr	02 ^h 15 ^m 47,0 ^s						
Ea	+ 00 ^h 12 ^m 03,0 ^s						
HMG	02 ^h 27 ^m 50,0 ^s						
AHG _γ (hora)	034° 53,6'						
acréscimo (m, s)	06° 58,6'						
AHG _γ (HMG)	041° 52,2'						
Long. estimada	039° 28,0'E						
AHL _γ	081° 20,2'						
ai	35° 43,8'						
ei	- 02,4'						
ao	35° 41,4'						
dp ap (Elev = m)	(14m) - 06,6'						
a ap	35° 34,8'						
c	- 01,4'						
a	35° 33,4'						
temp./pressão							
c ad (a ap < 10°)		+	-	+	-	+	-
ao	+ 26,6	+		+		+	
a ₁	+ 0,5	+		+		+	
a ₂	+ 0,3	+		+		+	
constante	- 60,0		- 60,0		- 60,0		- 60,0
cor. total	+ - 32,6	+	-	+	-	+	-
a	35° 33,4'						
Latitude	35° 00,8'						
Hleg	05 ^h 28 ^m						
Azimuth verd.							
M gi							
D gi	° (E/W)	° (E/W)	° (E/W)	° (E/W)	° (E/W)	° (E/W)	° (E/W)

NOTA: A correção adicional (c ad) só necessita ser aplicada, como complemento às demais correções, para alturas da estrela polar menores que 10°.

25.9.5 OBSERVAÇÕES FINAIS SOBRE A OBTENÇÃO DA LATITUDE PELA ESTRELA POLAR

a. Em **Navegação Astronômica**, o **Sol** e a **estrela polar** são os únicos astros habitualmente observados no meridiano. A **estrela polar**, por se situar praticamente no **Pólo Norte Celeste** (ponto de convergência de todos os meridianos), mantém-se

permanentemente nas proximidades do meridiano de qualquer observador, permitindo, assim, que a Latitude do navegante, no Hemisfério Norte, seja determinada com rigor, por ocasião dos crepúsculos matutino ou vespertino.

b. Uma vez que o valor das correções a serem aplicadas à altura verdadeira da Polar depende do AHL_{γ} , e uma vez que este argumento depende da Longitude estimada empregada no cálculo, chega-se à conclusão de que o resultado obtido será tão mais correto quanto maior for a precisão da Longitude estimada para o instante da observação. Note-se, entretanto, que, para um erro de 5,5' em Longitude, resulta, no máximo, um erro de 0,1' para a Latitude determinada.

c. Para se observar a estrela polar no decorrer do crepúsculo, usa-se aplicar, à Latitude estimada, as correções das Tábuas da Polar, **com o sinal trocado**, adicionando, ainda, 1° para se obter a altura aproximada da estrela. Ajustando no sextante a altura instrumental correspondente e visando o horizonte nas proximidades do pé da vertical da Polar (direção do Norte verdadeiro), será fácil distingui-la antes mesmo de ser vista a olho nu. Nessas condições, termina-se a colimação e faz-se a determinação precisa da altura do astro.

d. A linha de posição (LDP) de Latitude obtida pela observação da **estrela polar** pode ser combinada com LDP obtidas de observações de outros astros, para formar uma **posição astronômica**, ou ser transportada para o instante de uma LDP posterior, para determinação de uma posição por LDP sucessivas. Se não se dispuser de outra LDP, pode-se baixar uma perpendicular à LDP de Latitude, da posição estimada correspondente ao instante da observação da **estrela polar** (ou, em outras palavras, cruzar a Latitude determinada pela **estrela polar** com a Longitude estimada), obtendo-se uma posição estimada de boa confiabilidade.

e. Nas Latitudes elevadas do Hemisfério Norte pode ser difícil observar a **estrela polar**, que estará muito alta no céu (nas proximidades do Zênite do observador), havendo dificuldades para determinar corretamente o vertical do astro.

f. Para o navegante em uma Latitude menor no Hemisfério Norte, **Polaris** estará mais baixa sobre o horizonte e seu Azimute pode ser observado para determinação do desvio da agulha. O Azimute calculado da **estrela polar** é determinado mediante o uso das **Tábuas da Polar** existentes no **Almanaque Náutico**, entrando na parte inferior das tábuas, utilizando como argumento o AHL_{γ} e a Latitude (ver a figura 25.15).

No exemplo anterior, teríamos:

$$AHL_{\gamma} = 081^{\circ} 20,2' ; \text{Latitude} = 35^{\circ} 00,8' \text{ N}$$

Pela tábua, obtém-se:

$$A = 359,3^{\circ} \text{ (ver a figura 25.15).}$$

Se, no instante da observação, o Azimute da estrela polar medido pela repetidora da giro tivesse sido $Mgi = 001^{\circ}$, poder-se-ia determinar o desvio da giro, $Dgi = 1,7^{\circ} \text{ W} \cong 2^{\circ} \text{ W}$ (este assunto será novamente abordado no Capítulo 31). O modelo de cálculo da figura 25.16 contém, na sua parte inferior, espaço para determinação do Azimute e cálculo do desvio da agulha pela **estrela polar**.

25.10 PREVISÃO DO INSTANTE DA PASSAGEM MERIDIANA DE OUTROS ASTROS

25.10.1 CÁLCULO DO INSTANTE DA PASSAGEM MERIDIANA DA LUA

O **Almanaque Náutico** fornece, para cada dia, a **HML** da passagem meridiana **superior** e **inferior** da **Lua** pelo **meridiano de Greenwich**. Como sabemos, no meridiano de Greenwich a **HML** é igual à **HMG**. Em **Navegação Astronômica** interessa, apenas, a previsão da hora da **passagem meridiana superior** da Lua.

Para obter a **HML** da **passagem meridiana superior** da Lua em um determinado local, deve-se aplicar à **HMG** tabulada no **Almanaque Náutico** (para a data considerada) uma correção que depende da Longitude do lugar.

Como o **movimento aparente** da **Lua** (e de todos os demais astros) é de **E** para **W**, a **passagem meridiana** da **Lua** ocorrerá, com relação ao **meridiano de Greenwich**, **antes** nos locais situados a **Leste** e **depois** nos locais situados a **Oeste** de Greenwich. Assim, a correção a ser aplicada à **HMG** tabulada no **Almanaque Náutico** será baseada na diferença entre os instantes de duas passagens meridianas consecutivas da Lua em Greenwich, entre o dia considerado e o dia anterior (para locais de Longitude **E**), ou entre o dia considerado e o dia seguinte (para locais de Longitude **W**).

A interpolação é feita pela TÁBUA II da “página amarela” XXXII do Almanaque Náutico, reproduzida na figura 24.5 (ver o Capítulo 24). Entra-se na referida tábua com a diferença entre os instantes da **passagem meridiana** da **Lua** em dois dias consecutivos, como argumento horizontal, e com a **Longitude** como argumento vertical, obtendo-se o valor da correção no corpo da tabela, interpolando-se mentalmente conforme necessário.

Esta correção é, em geral, aditiva para Longitudes **W** e subtrativa para Longitudes **E**, exceto se, como às vezes acontece, no dia seguinte ao dia considerado o fenômeno ocorre mais cedo, e não mais tarde.

Após obter a **HML** da passagem da Lua pelo meridiano do lugar, converte-se a **HML** em **HMG** e, em seguida, em **Hleg**, conforme já estudado.

EXEMPLOS:

1. Calcular a **Hleg** da passagem meridiana superior da Lua no dia 26 de setembro de 1993, num lugar de Longitude 046° 42,0' W.

SOLUÇÃO:

a. Como o local tem Longitude **W**, para interpolar para a Longitude toma-se a diferença entre os instantes da passagem meridiana da Lua na data considerada e no dia seguinte:

$$\begin{array}{r} \text{HML (Pmd Lua-G) - 26/09/93} = 21^{\text{h}} 04^{\text{m}} \\ \text{HML (Pmd Lua-G) - 27/09/93} = 21^{\text{h}} 47^{\text{m}} \\ \hline \text{Diferença } (\Delta) = + \quad 43^{\text{m}} \end{array}$$

b. Entrando na Tábua II (figura 24.5), para interpolação para a Longitude, obtém-se: correção = + 5 minutos.

$$\begin{array}{r}
 \text{c.} \quad \text{HML (Pmd Lua-G) - 26/09/93} = 21^{\text{h}} 04^{\text{m}} \\
 \quad \quad \text{correção para a Longitude} = + \quad 05^{\text{m}} \\
 \hline
 \text{HML (Pmd Lua-L) - 26/09/93} = 21^{\text{h}} 09^{\text{m}} \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \lambda = 03^{\text{h}} 07^{\text{m}} \text{ W} \\
 \hline
 \text{HMG (Pmd Lua-L) - 26/09/93} = 24^{\text{h}} 16^{\text{m}} \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{fuso} = 03^{\text{h}} \quad (\text{P}) \\
 \hline
 \text{Hleg (Pmd Lua-L) - 26/09/93} = 21^{\text{h}} 16^{\text{m}} \text{ P}
 \end{array}$$

2. Calcular a Hleg da passagem meridiana superior da Lua no dia 7 de novembro de 1993, num lugar de Longitude 153° 14,0' E.

SOLUÇÃO:

a. Como o local tem Longitude E, para interpolar para a Longitude toma-se a diferença entre os instantes da passagem meridiana da Lua na data considerada e no dia anterior:

$$\begin{array}{r}
 \text{HML (Pmd Lua-G) - 07/11/93} = 05^{\text{h}} 56^{\text{m}} \\
 \text{HML (Pmd Lua-G) - 06/11/93} = 05^{\text{h}} 05^{\text{m}} \\
 \hline
 \text{Diferença } (\Delta) = - \quad 51^{\text{m}}
 \end{array}$$

b. Entrando na Tábua II (figura 24.5), para interpolação para a Longitude, obtém-se: correção = - 21 minutos.

$$\begin{array}{r}
 \text{c.} \quad \text{HML (Pmd Lua-G) - 07/11/93} = 05^{\text{h}} 56^{\text{m}} \\
 \quad \quad \text{correção para a Longitude} = - \quad 21^{\text{m}} \\
 \hline
 \text{HML (Pmd Lua-L) - 07/11/93} = 05^{\text{h}} 35^{\text{m}} \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \lambda = 10^{\text{h}} 13^{\text{m}} \text{ E} \\
 \hline
 \text{HMG (Pmd Lua-L) - 06/11/93} = 19^{\text{h}} 22^{\text{m}} \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{fuso} = 10^{\text{h}} \quad (\text{K}) \\
 \hline
 \text{Hleg (Pmd Lua-L) - 07/11/93} = 05^{\text{h}} 22^{\text{m}} \text{ K}
 \end{array}$$

O cálculo do instante da passagem meridiana da Lua é importante para emprego do método expedito de previsão de marés, ou método do Estabelecimento do Porto (ver o Capítulo 10, Volume I, deste Manual).

25.10.2 CÁLCULO DO INSTANTE DA PASSAGEM MERIDIANA DOS PLANETAS

No instante da passagem de um planeta por um determinado meridiano, o Ângulo Horário Local é nulo (t = 0).

Aplicando a Longitude a este Ângulo Horário Local, obtém-se o Ângulo Horário de Greenwich (tG).

Com tG, entra-se no **Almanaque Náutico** e obtém-se a HMG da passagem do astro pelo meridiano do lugar, hora esta que, combinada com o fuso, nos permitirá conhecer a Hleg do fenômeno.

EXEMPLO:

Calcular a Hora Legal da passagem meridiana superior de Vênus, no dia 26 de setembro de 1993, para um observador situado na posição Latitude 05° 20,0' N e Longitude 043° 52,0' E.

SOLUÇÃO:

$$\begin{array}{r}
 \text{AHL (Pmd Vênus)} = 000^\circ \\
 \text{Longitude} = 043^\circ 52,0' \text{ E} \\
 \hline
 \text{AHG (Pmd Vênus)} = 316^\circ 08,0' \\
 \text{AHG (Tabulado)} = 312^\circ 10,7' \quad \rightarrow \quad \text{HMG} = 07^{\text{h}} 00^{\text{m}} \\
 \hline
 \text{acréscimo} = 03^\circ 57,3' \quad \rightarrow \quad \text{dif} = 16^{\text{m}} \\
 \text{HMG} = 07^{\text{h}} 16^{\text{m}} \\
 \text{f} = 03^{\text{h}} \quad (\text{C}) \\
 \hline
 \text{Hleg} = 10^{\text{h}} 16^{\text{m}} \text{ C}
 \end{array}$$

OBSERVAÇÃO:

No **Almanaque Náutico**, na extremidade inferior de cada “**página diária**” da esquerda são dados os instantes das passagens meridianas em Greenwich dos planetas **Vênus, Marte, Júpiter e Saturno**, para o segundo dia (**dia médio**) dos três dias de cada “**página diária**” (ver a figura 23.3). Tal instante pode ser considerado, sem erro apreciável, como a HML da passagem meridiana do planeta em qualquer meridiano, para a data considerada (dia médio da “página diária”). Assim, por exemplo, o problema acima poderia ser solucionado da seguinte maneira:

$$\begin{array}{r}
 \text{HML (Pmd Vênus)} - 26/09/93 = 10^{\text{h}} 11^{\text{m}} \\
 \lambda = 02^{\text{h}} 55^{\text{m}} \text{ E} \\
 \hline
 \text{HMG} = 07^{\text{h}} 16^{\text{m}} \\
 \text{fuso} = 03^{\text{h}} \quad (\text{C}) \\
 \hline
 \text{Hleg} = 10^{\text{h}} 16^{\text{m}} \text{ C}
 \end{array}$$

25.10.3 CÁLCULO DO INSTANTE DA PASSAGEM MERIDIANA DAS ESTRELAS

Como vimos, para as **estrelas** (assim como para qualquer outro astro), temos:

$$\text{AHL}^* = \text{AHL}_\gamma + \text{ARV}^*$$

Assim:

$$\text{AHL}_\gamma = \text{AHL}^* - \text{ARV}^*$$

Na **passagem meridiana** de qualquer estrela, temos:

$$\text{AHL}^* = 000^\circ$$

Então, nesse instante:

$$\text{AHL}_\gamma = - \text{ARV}^*$$

ou:
$$\text{AHL}_\gamma = 360^\circ - \text{ARV}^*$$

Portanto, conhecido o AHL_γ , aplica-se a Longitude a este valor e obtém-se o AHG_γ .

O Almanaque Náutico fornece a HMG correspondente ao AHG_{γ} anteriormente calculado, resumindo-se, desta forma, o problema em converter essa HMG em **Hora Legal (Hleg)**.

EXEMPLO:

Calcular a **Hora Legal** da **passagem meridiana superior** de Capella, no dia 25 de setembro de 1993, para um observador situado na posição Latitude $35^{\circ} 06,0' S$ e Longitude $028^{\circ} 36,0' E$.

SOLUÇÃO:

a. No **Almanaque Náutico**, na “página diária” correspondente à data (25/09/93), obtém-se:

$$ARV_* = 280^{\circ} 56,1'$$

b. Faz-se, então:

$$\begin{array}{r} 360^{\circ} = 359^{\circ} 60,0' \\ - ARV_* = 280^{\circ} 56,1' \\ \hline AHL_{\gamma} = 079^{\circ} 03,9' \\ \lambda = 028^{\circ} 36,0' E \\ \hline AHG_{\gamma} = 050^{\circ} 27,9' \end{array}$$

c. No Almanaque Náutico: $HMG = 03^h \Rightarrow AHG_{\gamma} = 048^{\circ} 56,9'$

$$\begin{array}{r} AHG_{\gamma} = 050^{\circ} 27,9' \\ AHG_{\gamma} = 048^{\circ} 56,9' \\ \hline Acréscimo = 01^{\circ} 31,0' \end{array} \Rightarrow HMG = 03^h 00^m$$

d. Transformando arco em tempo (e arredondando para o minuto inteiro):

$$01^{\circ} 31,0' = 06^m$$

e. Assim, tem-se:

$$\begin{array}{r} HMG (Pmd *) = 03^h 06^m \\ \text{fuso} = 02^h \quad (B) \\ \hline Hleg (Pmd *) = 05^h 06^m B \end{array}$$

Caso Capella seja observada na **passagem meridiana** (no **crepúsculo matutino**), será obtida uma LDP de Latitude, tal como a LDP resultante de qualquer astro observado no meridiano.

Entretanto, como vimos anteriormente, o **Sol** e a **estrela polar** (esta para os observadores situados no Hemisfério Norte) são os únicos astros normalmente observados na **passagem meridiana**, para determinação da Latitude no mar. Assim, a previsão da hora da passagem meridiana de outros astros tem pouco interesse para o navegante. Convém lembrar ser muito curto o crepúsculo de observação, período em que o horizonte apresenta-se bem definido e durante o qual são visíveis as estrelas e os planetas. O navegante, portanto, ao efetuar as observações no crepúsculo, não deve ficar esperando que uma estrela atinja um Azimute desejado, pois tal modo de agir poderá fazê-lo chegar ao fim do crepúsculo sem ter efetuado qualquer observação.