

APÊNDICE AO CAPÍTULO 27

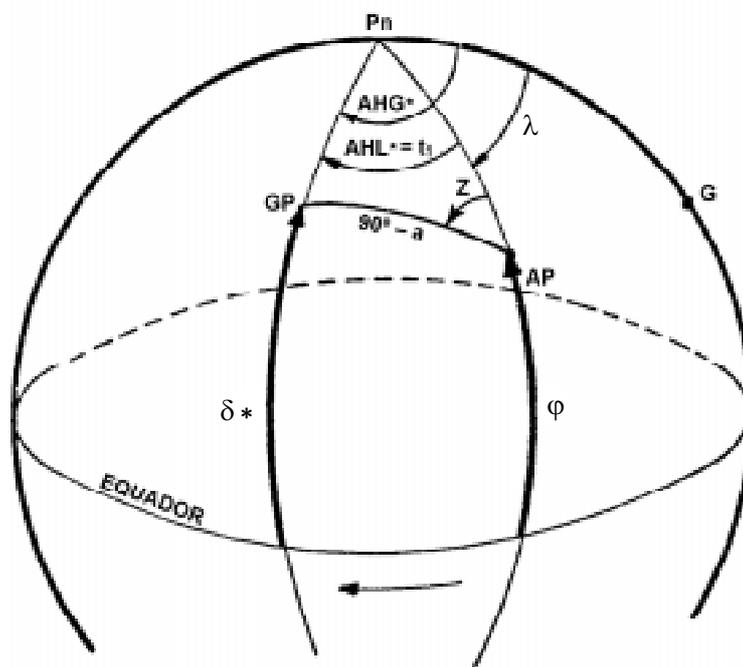
1 SOLUÇÃO ANALÍTICA DA POSIÇÃO ASTRONÔMICA

Conforme vimos no corpo do Capítulo 27, a determinação da posição astronômica admite uma **solução geométrica**, através do traçado direto das circunferências de alturas iguais, a fim de definir a posição do navio (normalmente, no cruzamento mais próximo da posição estimada no momento da observação). Entretanto, como citado, a **solução geométrica** só é prática para alturas muito altas (iguais ou superiores a 87°), pois, neste caso, o raio das circunferências de alturas iguais, isto é, a distância zenital dos astros observados ($z = 90^\circ - a$) é suficientemente pequeno para possibilitar o traçado das LDP diretamente na carta. Alturas muito elevadas, contudo, raramente são observadas em Navegação Astronômica (com exceção de observações meridianas do Sol, nas regiões tropicais, para determinação de uma LDP de Latitude), em virtude da dificuldade de definir o vertical do astro visado, no qual deve ser feita a medição de altura, conforme explicado em capítulos anteriores.

Outro método para determinação da posição astronômica é a **solução analítica**.

Seja o **triângulo de posição** projetado na esfera terrestre, mostrado na figura 27A.1, cujos vértices, como sabemos, são o **pólo elevado terrestre (Pn, neste caso)**, a **posição do observador (AP)** e o **ponto subastral, ou posição geográfica (GP)** do astro observado.

Figura 27A.1 – Solução Analítica da Posição Astronômica



Aplicando a fórmula fundamental da trigonometria esférica neste triângulo, teremos:

$$\cos z = \cos c \cdot \cos p + \sin c \cdot \sin p \cdot \cos t_1$$

$$\text{ou: } \cos (90^\circ - a) = \cos (90^\circ - \varphi) \cdot \cos (90^\circ - \delta) + \sin (90^\circ - \varphi) \cdot \sin (90^\circ - \delta) \cdot \cos t_1$$

$$\text{ou: } \sin a = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t_1$$

Esta é a equação da circunferência de posição sobre a esfera, correspondente ao primeiro astro observado (astro A).

Se for tomada a altura (a') de um segundo astro (B), a equação da circunferência de posição será:

$$\sin a' = \sin \varphi \cdot \sin \delta' + \cos \varphi \cdot \cos \delta' \cdot \cos t_1'$$

Conforme vimos em capítulos anteriores, o ângulo no pólo local do astro (t_1) é igual à diferença entre o ângulo no pólo em Greenwich do astro (t_1G) e a Longitude do local (λ). Ou seja:

$$t_1 = t_1G - \lambda$$

Sabe-se da Astronomia que: $AHG^* = AHG \gamma + ARV^*$

Ademais, no caso do astro a Oeste, tem-se: $t_1G = AHG^*$

Portanto, teremos:

$$\sin a = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos (AHG \gamma + ARV_A - \lambda)$$

Analogamente, para o outro astro, tem-se:

$$\sin a' = \sin \varphi \cdot \sin \delta' + \cos \varphi \cdot \cos \delta' \cdot \cos (AHG \gamma + ARV_B - \lambda)$$

Destas duas equações, conhecem-se:

a. Para o primeiro astro observado (astro A):

a = Altura medida do astro;

δ = Declinação do astro no instante da observação;

$AHG\gamma$ = Valor do Ângulo Horário em Greenwich do Ponto Vernal no instante da observação (fornecido pelo Almanaque Náutico);

ARV_A = Ascensão Reta Versa do astro A (fornecida pelo Almanaque Náutico).

b. Para o segundo astro observado, conhecem-se, também, todos os elementos acima citados.

Assim, estabelece-se um sistema de duas equações a duas incógnitas, que são φ e λ , isto é, a Latitude e a Longitude da posição astronômica, já que todos os outros elementos

são conhecidos. Resolvendo-se, teremos uma ou duas soluções. Neste caso, escolhe-se aquela que mais se aproxima da **posição estimada** no momento da observação da posição.

Este processo analítico é conhecido como Problema de Douwes, em memória do navegante holandês que, pela primeira vez, o resolveu.

A resolução dessas equações, sendo longa e complicada, não era usada na prática corrente da navegação, até a introdução dos computadores e calculadoras eletrônicas. Porém, atualmente, a **solução analítica** vem sendo cada vez mais empregada na Navegação Astronômica.

Apresenta-se abaixo um método analítico para determinação da posição astronômica por cálculo direto (usando uma calculadora eletrônica programável dispondo de funções trigonométricas). Este processo, que é baseado no Método dos Mínimos Quadrados, tem a vantagem de possibilitar o uso de várias observações.

Para cada astro observado, calcula-se a **diferença de alturas** ($\Delta a = a - ae$) e o **Azimute Verdadeiro** (**Az**), que são os elementos usados para o cálculo da **posição astronômica**, em conjunto com as coordenadas geográficas (φe e λe) da **posição estimada** no momento da observação.

Sendo n o número de astros observados, faz-se o cálculo através das fórmulas:

$$A = \cos^2 Az_1 + \cos^2 Az_2 + \cos^2 Az_3 + \dots + \cos^2 Az_n$$

$$B = \cos Az_1 \cdot \sen Az_1 + \cos Az_2 \cdot \sen Az_2 + \cos Az_3 \cdot \sen Az_3 + \dots + \cos Az_n \cdot \sen Az_n$$

$$C = \sen^2 Az_1 + \sen^2 Az_2 + \sen^2 Az_3 + \dots + \sen^2 Az_n$$

$$D = \Delta a_1 \cdot \cos Az_1 + \Delta a_2 \cdot \cos Az_2 + \Delta a_3 \cdot \cos Az_3 + \dots + \Delta a_n \cdot \cos Az_n$$

$$E = \Delta a_1 \cdot \sen Az_1 + \Delta a_2 \cdot \sen Az_2 + \Delta a_3 \cdot \sen Az_3 + \dots + \Delta a_n \cdot \sen Az_n$$

$$G = A \cdot C - B^2$$

$$\lambda = \lambda e + \frac{(A \cdot E - B \cdot D)}{G \cdot \cos \varphi e}$$

$$\varphi = \varphi e + \frac{(C \cdot D - B \cdot E)}{G}$$

Para verificação, determina-se a distância (d) entre a **posição calculada** e a **posição estimada**, pela fórmula:

$$d = 60 \sqrt{(\lambda - \lambda e)^2 \cdot \cos^2 \varphi e + (\varphi - \varphi e)^2}$$

Se $d > 20$ milhas náuticas, faz-se $\varphi e = \varphi$ calculada e $\lambda e = \lambda$ calculada e repetem-se os cálculos, numa segunda aproximação, fazendo-se aproximações sucessivas até que $d \leq 20$ milhas. Normalmente, duas aproximações são suficientes, visto que esta série é altamente convergente.

NOTAS:

1. Nas fórmulas acima, as **diferenças de altura** ($\Delta a = a - ae$) devem ser transformadas de minutos de arco (milhas náuticas) em graus e décimos.

2. A convenção utilizada é que a Longitude E é positiva e W é negativa. A Latitude N é positiva e S é negativa.

EXEMPLO:

Usando o método descrito, calcular a posição do navio às HMG = 19^h00^m00^s, do dia 16 de junho de 1993, tendo sido observados os astros abaixo e obtidos os seguintes **elementos determinativos** das LDP:

A) SPICA : $\Delta a_1 = - 24,01' = - 0,4001^\circ$; $Az_1 = 157,7^\circ$

B) POLLUX : $\Delta a_2 = + 18,35' = + 0,3058^\circ$; $Az_2 = 286,7^\circ$

C) VEGA : $\Delta a_3 = + 01,39' = + 0,0231^\circ$; $Az_3 = 056,1^\circ$

A **posição estimada** do navio por ocasião das observações era conhecida apenas com aproximação de grau inteiro: $\varphi e = 32^\circ N$; $\lambda e = 015^\circ W$. O rumo era 325° , velocidade de 12 nós.

SOLUÇÃO:

a. $A = 1,250161278$; $B = - 0,162168114$; $C = 1,749838722$

$D = 0,470811730$; $E = - 0,425420955$; $G = 2,161282116$

b. $\lambda = - 15 - 0,248514003 = 015^\circ 14,9' W$

$\varphi = 32 + 0,349262540 = 32^\circ 20,9' N$

c. Calcula-se, então, a distância entre a **posição determinada** e a **posição estimada**:

$$d = 60 \sqrt{(\lambda - \lambda e)^2 \cdot \cos^2 \varphi e + (\varphi - \varphi e)^2}$$

$d = 24,5$ milhas náuticas

d. Como esta distância é maior que 20 milhas, toma-se como nova **posição estimada** a **posição determinada** pela **solução analítica** e repete-se todo o cálculo, determinando-se, inclusive, os valores de **Azimuthes Verdadeiros** e **diferenças de altura** para a nova posição. Neste caso, tais valores seriam:

SEGUNDA REITERAÇÃO

A) SPICA : $\Delta a_1 = + 0,17' = + 0,0029^\circ$; $Az_1 = 157,5^\circ$

B) POLLUX : $\Delta a_2 = + 0,29' = + 0,0048^\circ$; $Az_2 = 286,4^\circ$

C) VEGA : $\Delta a_3 = + 0,16' = + 0,0027^\circ$; $Az_3 = 056,1^\circ$

Com estes **elementos determinativos** das retas de altura, calcula-se novamente a **posição astronômica**:

$A = 1,244819935$; $B = - 0,160457295$; $C = 1,755180065$

$D = 0,000179443$; $E = - 0,001256834$; $G = 2,159136590$

$\lambda = - 15,248514003 - 0,000841942 = - 15,24935594 = 015^\circ 15,0' W$

$\varphi = 32,349262540 + 0,000052468 = 32,34931501 = 32^\circ 21,0' N$

e. Calcula-se, então, a distância entre a **posição estimada** (ou seja, a posição previamente calculada) e a nova **posição determinada**, conforme anteriormente explicado, obtendo-se, $d = 0,05$ milha. Assim, adota-se para a **posição astronômica** os valores determinados na segunda reiteração, isto é:

$$\varphi = 32^{\circ} 21,0' N ; \lambda = 015^{\circ} 15,0' W$$

É fácil preparar um programa de cálculo para calculadora eletrônica, a fim de determinar as coordenadas da **posição astronômica** através da **solução analítica** apresentada.

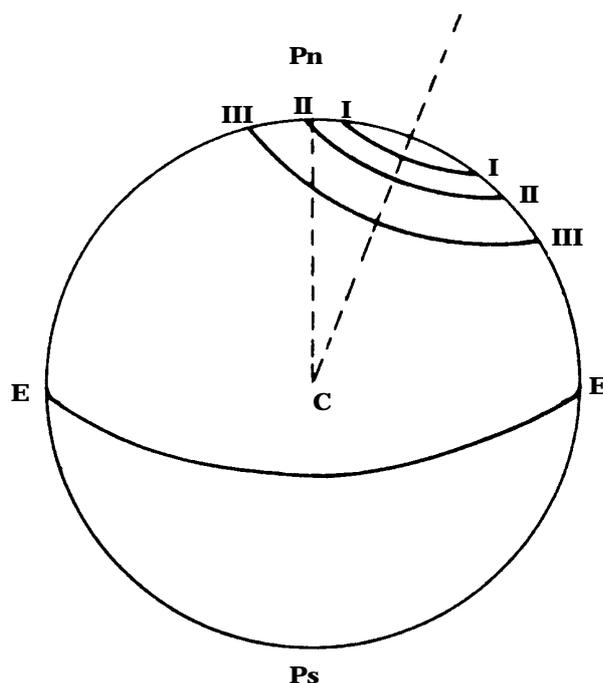
Entretanto, conforme mencionado no Capítulo 27, mesmo com a introdução de computadores e calculadoras eletrônicas programáveis, na prática da **Navegação Astronômica** em geral adota-se, ainda, para determinação da posição astronômica, uma combinação da solução analítica com uma solução gráfica sobre a Carta Náutica (ou folha de plotagem), de acordo com o que foi explicado no corpo do referido Capítulo.

2 FORMAS E PROPRIEDADES DAS CURVAS DE ALTURA

Conforme visto no corpo do Capítulo 27, chamam-se **curvas de altura** ou de **posição** às curvas que, na carta de Mercator, representam as **circunferências de posição**.

Podemos classificá-las como de 1ª, 2ª e 3ª espécies, conforme o pólo terrestre mais próximo se situe, respectivamente, fora, sobre ou dentro da **circunferência de posição**, como é mostrado na figura 27A.2.

Figura 27A.2 - Curvas de Posição



CURVAS DE 1ª ESPÉCIE

Para que o pólo fique fora da circunferência de altura, é necessário que $p > z$. Para traçar esta curva temos que determinar os paralelos e meridianos que a limitam, o meridiano central e o paralelo que passa pelos pontos de tangência com os meridianos. A Longitude do meridiano central é o ângulo no pólo em Greenwich (t_1G) do astro. A Latitude do paralelo limite inferior é $\delta - z$. A Latitude do outro paralelo limite será $\delta + z$.

Resolvendo o triângulo PDC (ver a figura 27A.3), retângulo em C, determinaremos $\Delta\lambda$ entre C e D, que será a mesma para o ponto C', e também a Latitude destes pontos de tangência, pelas seguintes fórmulas:

Fazendo $PD = p$, $DC = z$, $PC = 90^\circ - \varphi = \text{colat}$:

$$\text{sen } z = \text{sen } p \cdot \text{sen } \Delta\lambda \quad \therefore \quad \boxed{\text{sen } \Delta\lambda = \frac{\cos a}{\text{sen } \delta}}$$

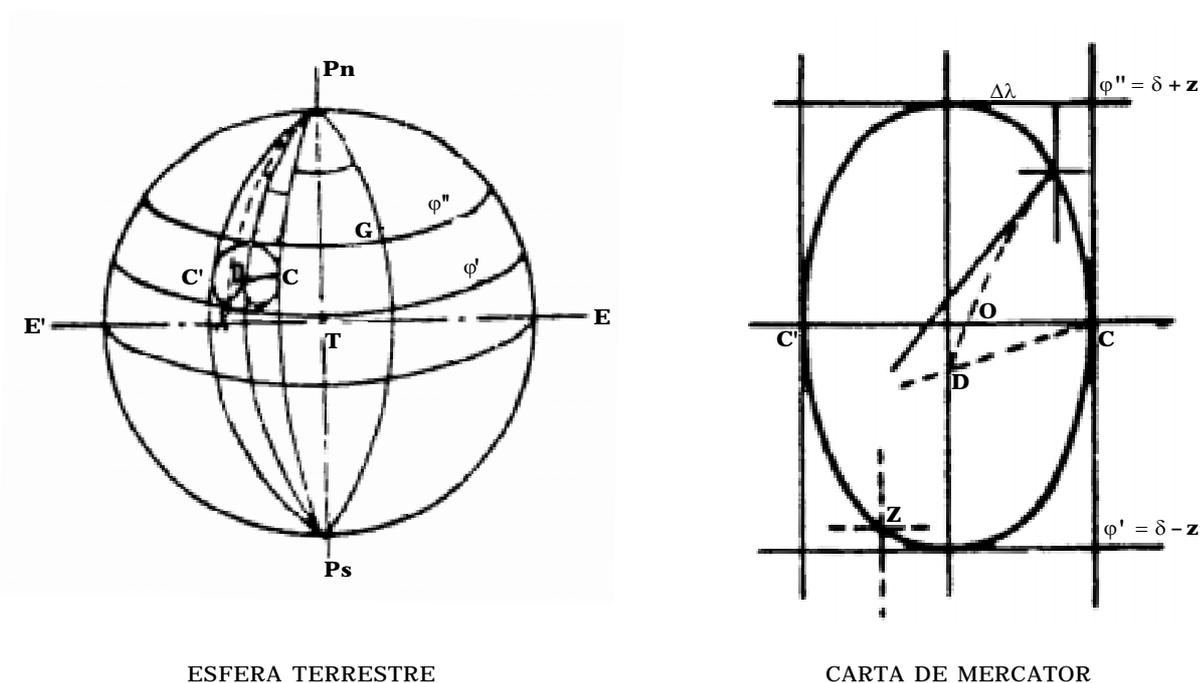
$$\cos p = \cos z \cdot \cos (90^\circ - \varphi) \quad \therefore \quad \text{sen } \delta = \text{sen } a \cdot \text{sen } \varphi \quad \therefore$$

$$\boxed{\text{sen } \varphi = \frac{\text{sen } \delta}{\text{sen } a}}$$

À proporção que o observador se desloca ao longo da **circunferência de altura**, o **triângulo de posição** se deforma; em C e C' ele é retângulo, em X ele é obliquângulo.

Dando a φ valores compreendidos entre os paralelos limites, calcular-se-iam os valores correspondentes de $\Delta\lambda$ em relação ao meridiano central, pelo triângulo PDX, no qual se conhecem p , z e colat, e, deste modo, seria traçada a curva.

Figura 27A.3 - Curva de 1ª Espécie



Verifica-se ser ela uma curva que se assemelha a uma elipse, cujo eixo maior está na direção do meridiano do ponto subastral (ver a figura 27A.3). O centro da circunferência de posição, que é o ponto subastral, ficará abaixo do centro da elipse, porquanto, em virtude das Latitudes crescidas, o paralelo limite superior ficará mais distante deste ponto que o inferior.

Propriedades da curva de 1ª espécie

- a. Ela é simétrica em relação ao meridiano do ponto subastral.
- b. O semi-eixo menor é o máximo valor do ângulo no pólo local.
- c. Todas as circunferências de posição tangentes ao mesmo par de meridianos se projetam na carta, em curvas que se superpõem por translação.
- d. Qualquer que seja a posição do observador, o valor máximo do ângulo no pólo será sempre menor que 90°.

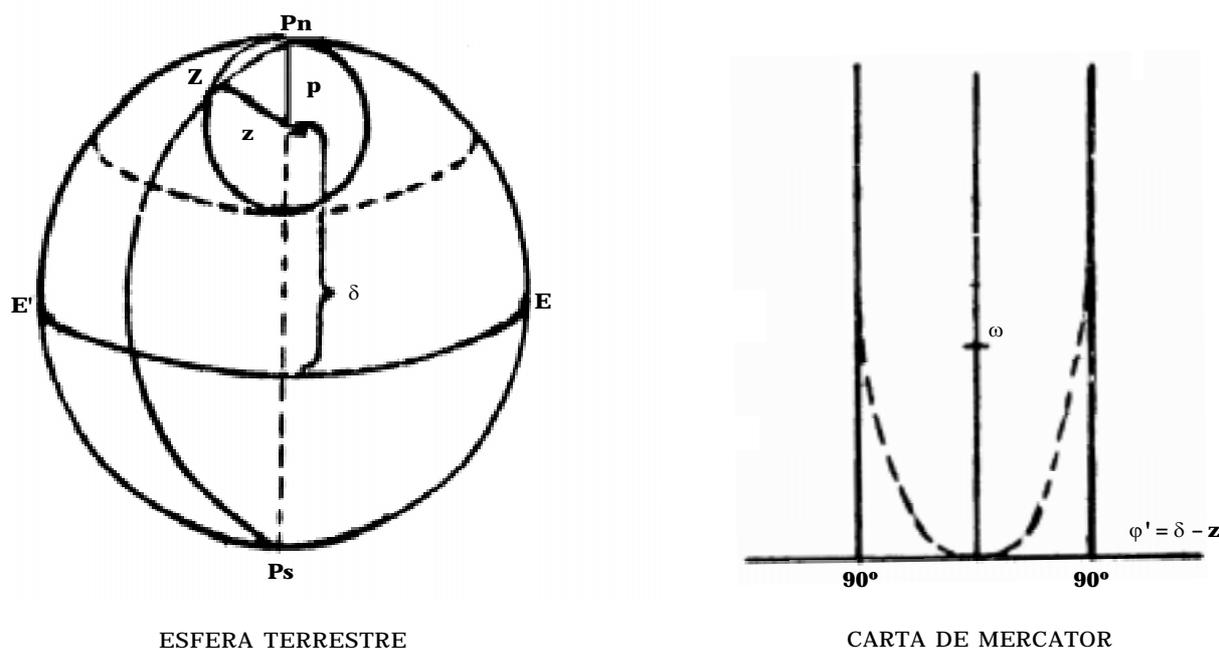
Estas propriedades são todas demonstráveis matematicamente; porém, como fogem da alçada de nosso Manual, são apenas enunciadas.

Em resumo, a **curva de 1ª espécie** é uma curva de forma elíptica, fechada, convexa em todos os seus pontos, admitindo um centro situado na interseção dos diâmetros retangulares, que são o meridiano do ponto subastral e o paralelo equidistante dos paralelos extremos (ver a figura 27A.3).

CURVAS DE 2ª ESPÉCIE

Para que o pólo fique sobre a circunferência de posição, é preciso que $p = z$. O paralelo inferior terá para valor de sua Latitude, como se vê na figura 27A.4, $\varphi' = \delta - z$. O paralelo superior é o pólo ($\varphi = 90^\circ$).

Figura 27A.4 – Curva de 2ª Espécie



Para se traçar esta curva, tomam-se como eixos o paralelo inferior e o meridiano do ponto subastral. Traça-se a curva por pontos, como anteriormente. A curva formada

assemelha-se a uma parábola, sendo os meridianos defasados de 90° do meridiano do ponto subastral as assíntotas da curva, posto que são tangentes à curva no pólo, que, na projeção de Mercator, não tem representação, isto é, fica no infinito. O **triângulo de posição** será sempre isósceles, já que tem dois lados iguais.

Propriedades das curvas de 2ª espécie

- a. A curva é simétrica em relação ao meridiano do ponto subastral.
- b. A curva tem para assíntotas os meridianos defasados de 90° do meridiano do ponto subastral.
- c. Os valores de t_1 e Z, para os observadores que estiverem sobre a curva, serão sempre inferiores a 90°.
- d. As curvas de 2ª espécie são limites das curvas de 1ª espécie.

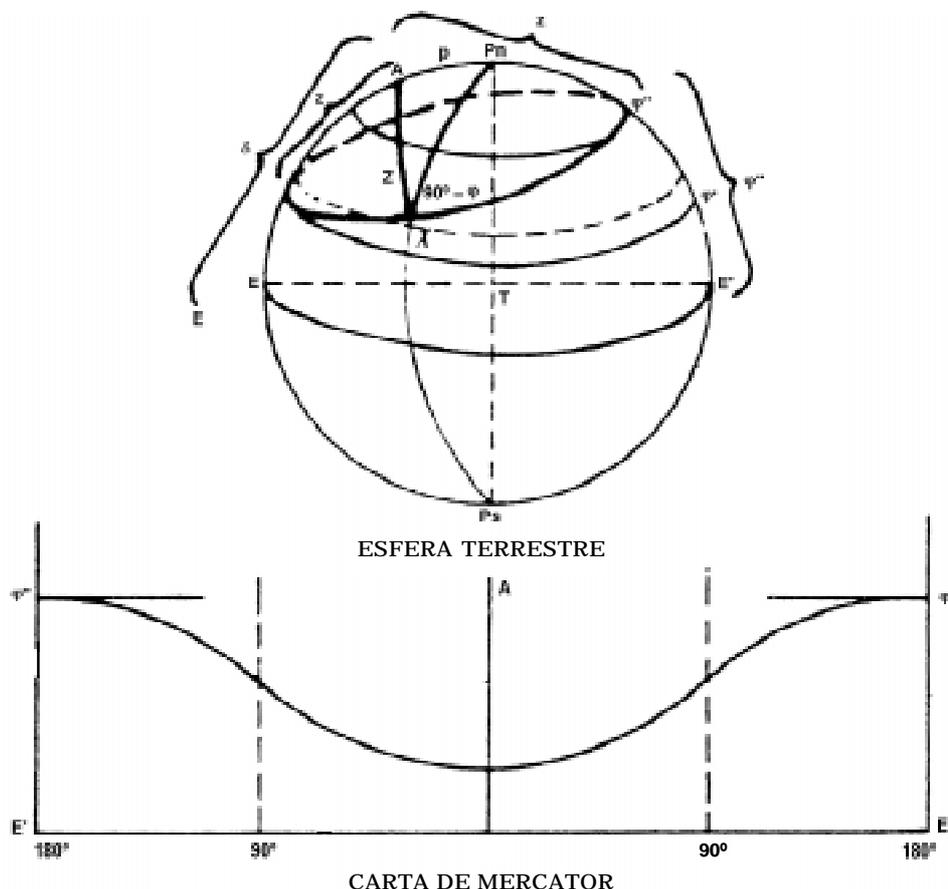
Em resumo, a curva se compõe de um único ramo parabólico, sendo simétrica em relação ao meridiano do ponto subastral, e assintótica em relação aos meridianos defasados deste de 90°. A concavidade da curva é sempre voltada para o astro (ver a figura 27A.4).

CURVAS DE 3ª ESPÉCIE

Para que o pólo fique no interior da circunferência de altura é preciso que $p < z$. Os paralelos que a limitam têm os seguintes valores para suas Latitudes, como se vê na figura 27A.5:

$$\varphi' = \delta - z \quad \text{e} \quad \varphi'' = 180^\circ - (\delta + z)$$

Figura 27A.5 – Curva de 3ª Espécie



O meridiano central tem para Longitude, como é sabido, o ângulo no pólo em Greenwich (t_1G) do astro. Teremos um ponto da curva na interseção deste meridiano com o paralelo limite inferior, que já determinamos. O ponto oposto a este será a interseção do paralelo limite superior com o antimeridiano do ponto subastral, que se desdobrará na carta de Mercator em dois outros pontos, situados neste paralelo e sobre o meridiano defasado de 180° do ponto subastral. A curva sofrerá uma inflexão nos pontos do meridiano defasados de 90° . Ela terá, pois, o aspecto sinusoidal. Poderemos construí-la por pontos, da mesma maneira que as curvas de 1ª e 2ª espécies.

Propriedades das curvas de 3ª espécie

- a. O paralelo equidistante de φ' e φ'' na projeção corta a curva nos pontos de inflexão.
- b. A curva é simétrica em relação ao meridiano do ponto subastral.
- c. A curva corta todos os meridianos e os observadores podem ver o astro com um ângulo horário qualquer.
- d. Todas as curvas compreendidas entre o mesmo par de meridianos são superpostas por rotação em torno do meridiano do ponto subastral.

Em resumo, a curva da 3ª espécie é uma sinusóide que tangencia o paralelo inferior no ponto de Longitude igual ao valor do ângulo no pólo em Greenwich (t_1G). A partir deste ponto, sobem seus dois ramos, simétricos, com a concavidade voltada para o meridiano e, nos meridianos defasados de 90° , apresentam um ponto de inflexão. A partir deste ponto, voltam a convexidade para o meridiano médio e, sempre simétricas a ele, vão tangenciar o paralelo limite superior no meridiano defasado de 180° (ver a figura 27A.5).

Todos os círculos máximos da esfera são representados por curvas de 3ª espécie, exceto os meridianos, porque passam pelos pólos. O seu paralelo médio será o Equador, os seus pontos de inflexão, conseqüentemente, estarão sobre o Equador e toda porção da curva situada num Hemisfério tem a sua concavidade constantemente voltada para o Equador. Este conceito é importante para a **Navegação Ortodrômica** (derrotas que cruzam o Equador), que será estudada no Capítulo 33.

Do estudo feito sobre as **curvas de alturas iguais**, conclui-se que o **ponto subastral** fica na concavidade da curva, sempre que o ângulo no pólo é menor que 90° , e na convexidade, sempre que o ângulo no pólo for maior que 90° ; e que todas as curvas são simétricas em relação ao meridiano do ponto subastral.

A figura 27.6, no corpo do Capítulo 27, exemplifica o traçado das três espécies de **curvas de alturas iguais** na carta de Mercator.

3 PONTOS DETERMINATIVOS DE UMA RETA DE ALTURA

Vimos, no corpo do Capítulo 27, que a **reta de altura**, ou **reta de posição**, é a tangente que, dentro de certos limites, substitui a **curva de posição** na carta de Mercator; e que denomina-se **ponto determinativo** ao ponto pertencente à **reta de altura** utilizado para seu traçado na Carta Náutica, ou folha de plotagem.

Há três **pontos determinativos** notáveis, designados pelos nomes dos seus idealizadores, a saber.

a. **Ponto Marcq Saint-Hilaire**, caracterizado pela interseção da direção azimutal do astro com a curva de posição, denominado **método do vertical estimado**.

b. **Ponto determinativo Lalande**, que é o ponto em que o paralelo estimado intercepta a curva de posição, sendo por isso conhecido como o **método do paralelo estimado**.

c. **Ponto determinativo Borda**, interseção do meridiano estimado com a curva de posição, sendo por isso chamado de **método do meridiano estimado**.

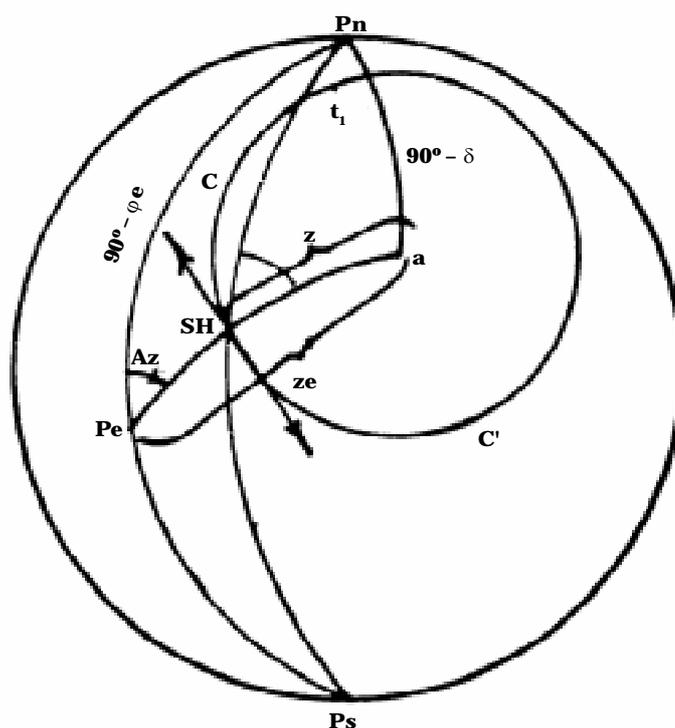
4 PONTO MARCQ SAINT-HILAIRE (Pos SH): MÉTODO DO VERTICAL ESTIMADO

A figura 27A.6 representa a esfera terrestre com uma **circunferência de posição CC'**, em sua superfície. **Pe** é a posição estimada do observador.

Chama-se **vertical estimado** ao vertical que passa por este ponto estimado e pelo astro no instante da observação.

A direção deste **vertical estimado** é dada pelo Azimute estimado, que é o ângulo formado pelo meridiano do ponto **Pe** com o citado vertical. A direção azimutal do astro é obtida pela resolução de um triângulo esférico estimado, do qual são conhecidos a Latitude estimada, a Declinação e o ângulo no pólo do astro (triângulo **Pe Pna** na figura 27A.6).

Figura 27A.6 - Ponto Marcq Saint-Hilaire



É claro que, como o ponto estimado não coincide com a posição real do navio, o Azimute estimado não será igual ao Azimute tomado desta verdadeira posição. Porém, sabe-se que, geralmente, a diferença entre os dois Azimutes não chega a meio grau e como, na carta, a aproximação do Azimute é de $0,5^\circ$, toma-se, na prática, um pelo outro.

Se o ponto estimado Pe estiver sobre a circunferência CC' , a distância zenital calculada ou estimada (ze) será igual à distância zenital verdadeira (z).

Se o ponto estimado for exterior à circunferência de posição, como se vê na figura 27A.6, é evidente que a distância zenital estimada (ze) será maior que a verdadeira (z).

Finalmente, a distância zenital estimada (ze) será menor que a distância zenital verdadeira (z) quando a posição estimada estiver no interior do círculo de alturas iguais.

Hoje em dia, as retas de altura são normalmente traçadas na carta pelo método do vertical estimado. Existe um grande número de tábuas de Altura e Azimute que resolvem o triângulo estimado, fornecendo estes dois elementos em função de ϕ_e , δ e t_1 .

A parte gráfica de determinação da reta de altura é feita na Carta Náutica, ou folha de plotagem, como se segue:

– Traça-se na carta, a partir do ponto estimado, uma linha que indica a direção azimutal do astro; em seguida, toma-se, a partir do ponto estimado, uma distância, em milhas, igual à diferença de distâncias zenitais (ou diferença de alturas) em minutos, no sentido do astro ou em sentido contrário, o que permite determinar o ponto Marcq Saint-Hilaire (Pos SH), interseção do vertical estimado com a curva de altura.

– Pelo ponto **Saint-Hilaire**, e perpendicularmente à direção azimutal, traça-se a **reta de altura**.

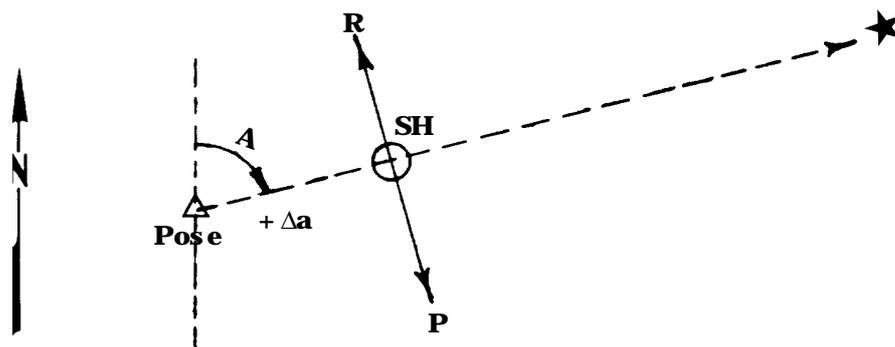
1º Caso – Ponto estimado exterior à curva de posição

$$z < ze$$

$$90 - a < 90 - ae \quad \therefore a > ae \quad \therefore \Delta a = a - ae \text{ (positiva)}$$

A figura 27A.7 esclarece o traçado da reta, mostrando a diferença de alturas Δa , tomada a partir da posição estimada, na direção azimutal, no sentido do astro, porque a altura verdadeira é maior que a altura estimada ($a > ae$).

Figura 27A.7 - Diferença de Alturas (Δa) Positiva



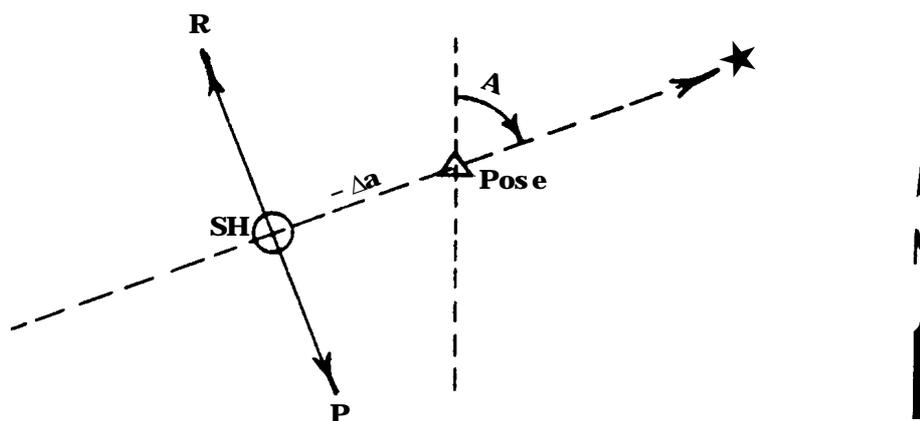
2º Caso - Ponto estimado interior à curva de posição

$$z > z_e$$

$$90 - a > 90 - a_e \therefore a < a_e \therefore \Delta a = a - a_e \text{ (negativa)}$$

A figura 27A.8 indica que, neste caso, a diferença de alturas Δa deverá ser tomada a partir da posição estimada na direção azimutal, mas em sentido oposto ao do astro, porque a diferença de alturas Δa é negativa ($a < a_e$).

Figura 27A.8 - Diferença de Alturas (Δa) Negativa



A diferença de distâncias zenitais, ou diferença de alturas, é um segmento de arco de círculo máximo e, como tal, deveria ser representado na carta de Mercator por uma ortodromia; porém, demonstra-se que, para pequenas distâncias, como é o caso, visto $\Delta a = a - a_e$ ser da ordem de, no máximo, algumas dezenas de minutos, a ortodromia confunde-se com a loxodromia na carta de Mercator.

5 PONTO LALANDE (Pos Lal): MÉTODO DO PARALELO ESTIMADO

A determinação deste ponto consiste num cálculo isolado da Longitude.

As coordenadas são a Latitude estimada e a Longitude calculada em função da altura do astro, da Declinação e da Latitude estimada (1º caso de resolução de triângulos esféricos obliquângulos).

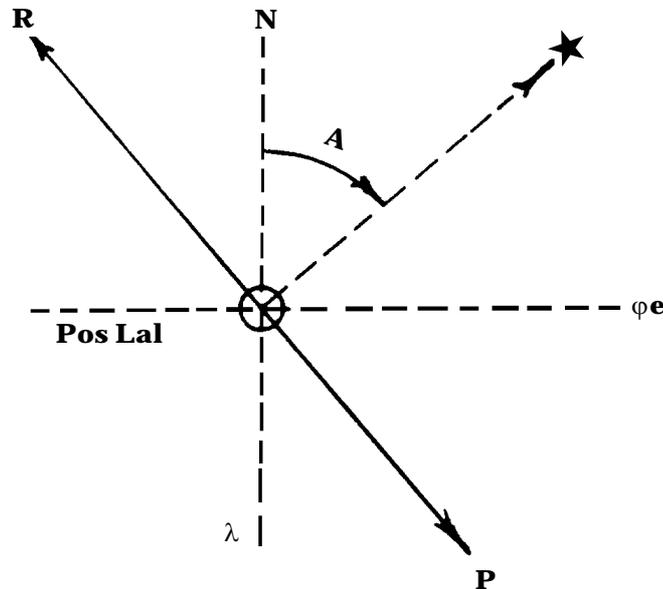
A fórmula para se obter a Longitude é:

$$\text{ssv } t_1 = \frac{\cos s \cdot \text{sen}(s - a)}{\text{sen } p \cdot \cos \varphi_e}, \text{ onde } s = \frac{a + p + \varphi_e}{2}$$

$$\lambda = t_1 G - t_1$$

Para traçar a reta na carta de Mercator, marca-se a interseção do paralelo estimado com o meridiano calculado e, por este ponto, traça-se a reta de altura numa direção perpendicular à direção azimutal, que é calculada por uma tábua qualquer de Azimutes, em função de φ_e , δ e t_1 (figura 27A.9).

Figura 27A.9 - Ponto Lalande



As circunstâncias favoráveis para este método são aquelas já mencionadas para o cálculo isolado da Longitude no mar: corte do 1º vertical, baixas Latitudes, máxima digressão ou astros de pequena Declinação, como o Sol.

6 PONTO BORDA (Pos Bor): MÉTODO DO MERIDIANO ESTIMADO

As coordenadas deste ponto são a Longitude estimada e a Latitude calculada em função dos elementos a , p e t_1 (5º caso de resolução de triângulos esféricos obliquângulos), pelas fórmulas:

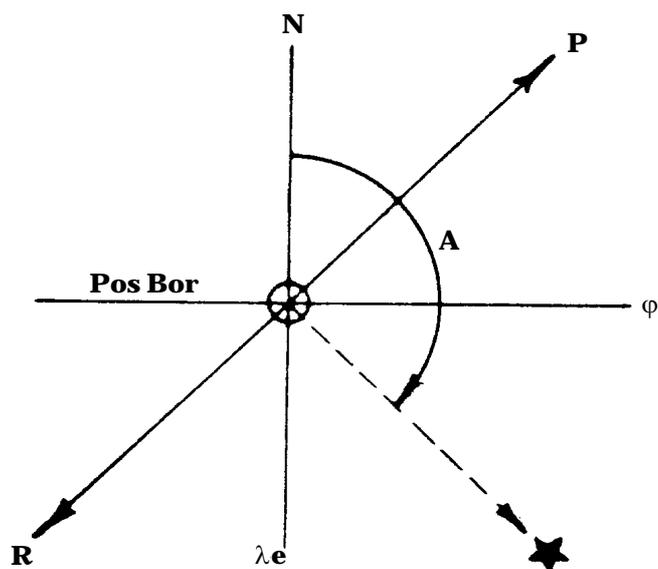
$$\operatorname{tg} p \cdot \cos t_1 = \operatorname{tg} m, \text{ onde } \operatorname{sen} (\varphi + m) = \frac{\operatorname{sen} a \cos m}{\cos p}$$

Para orientação da reta de altura, calcula-se o Azimute por uma tábua qualquer destinada a este fim.

O traçado da reta de posição pelo ponto determinativo Borda é mostrado na figura 27A.10.

O astro deverá ser observado na passagem meridiana, que é a circunstância favorável para o cálculo da Latitude.

Figura 27A.10 - Ponto Borda



Os três pontos determinativos notáveis são mostrados, em conjunto, na figura 27A.11.

Figura 27A.11 - Pontos determinativos (SH, Lal e Bor)

