

20

COMBINAÇÃO DOS SISTEMAS DE COORDENADAS UTILIZADOS EM NAVEGAÇÃO ASTRONÔMICA. O TRIÂNGULO ASTRONÔMICO OU TRIÂNGULO DE POSIÇÃO

20.1 PROCESSO DE OBTENÇÃO DE LINHAS DE POSIÇÃO (LDP) E DE UMA POSIÇÃO ASTRONÔMICA

Em **Navegação Astronômica** usa-se um processo interativo para determinar uma **linha de posição (LDP)** e a **posição** do navio, de acordo com a seguinte seqüência:

a. O navegante conhece sua **posição estimada** (posição assumida) quando observa um astro; visando o astro com o sextante, ele obtém, após aplicar várias correções à **altura instrumental** obtida, a **altura verdadeira (a)** do astro;

b. Então, usando a **posição assumida**, o navegante resolve o **triângulo de posição** e determina a **altura calculada (ae)** do astro, que é a altura que o astro apresentaria se o navio estivesse exatamente na **posição assumida**, e o **Azimuth Verdadeiro (Az)** do astro;

c. Comparando a **altura verdadeira (a)** com a **altura calculada (ae)**, o navegante, baseado na diferença de alturas e no **azimuth verdadeiro** calculado para o astro, determina uma **linha de posição (LDP)** para o navio; e

d. Observando **3** (ou mais) astros, determina **3** (ou mais) **linhas de posição (LDP)** e, assim, obtém a posição do navio, na interseção das **linhas de posição**.

Desta forma, resolve-se o **triângulo de posição** para a **posição assumida**, a fim de determinar a **altura calculada (ae)** e o **Azimuth Verdadeiro (Az)** do astro

observado. Em seguida, com o **Azimute Verdadeiro (Az)** e a diferença entre a **altura verdadeira (a)** e a **altura calculada (ae)**, obtém-se uma **linha de posição (LDP)** para o navio. Com pelo menos **3 LDP**, determina-se a **posição astronômica**.

Este é, em resumo, o processo de obtenção da **LDP** e da **posição** do navio usado em **Navegação Astronômica**, que será estudado em detalhes nos capítulos seguintes.

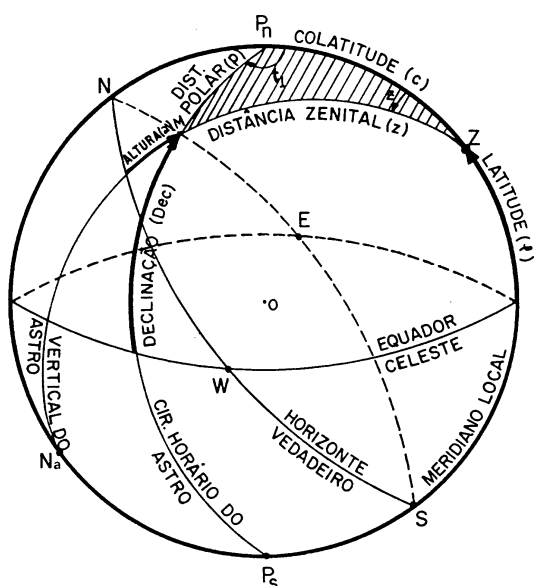
20.2 O TRIÂNGULO ASTRONÔMICO OU TRIÂNGULO DE POSIÇÃO

O **triângulo de posição** é um triângulo esférico obtido combinando-se três **sistemas de coordenadas** utilizados em **Navegação Astronômica**:

- SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS (Lat e Long)**: para fixar a posição do **ZÊNITE** do observador na **esfera celeste** (posição assumida ou posição estimada);
- SISTEMA DE COORDENADAS HORÁRIAS (AHL e Dec)**: para fixar a posição do astro na **esfera celeste**, no instante da observação; e
- SISTEMA DE COORDENADAS HORIZONTAIS OU AZIMUTAIS (a e Az)**: para fixar a posição do astro em relação ao observador, no instante da observação.

20.3 ELEMENTOS DO TRIÂNGULO DE POSIÇÃO

Figura 20.1 - O Triângulo de Posição



VÉRTICES	LADOS	ÂNGULOS
- PÓLO ELEVADO	- COLATITUDE $c = 90^\circ - \varphi$	- ÂNGULO NO PÓLO (t)
- ZÊNITE DO OBSERVADOR (POSIÇÃO ESTIMADA OU ASSUMIDA)	- DISTÂNCIA ZENITAL $z = 90^\circ - a$	- ÂNGULO NO ZÊNITE (Z)
- ASTRO OBSERVADO	- DISTÂNCIA POLAR $p = 90^\circ \pm Dec$	- ÂNGULO PARALÁTICO

a. VÉRTICES

- **Pólo elevado** (pólo celeste situado acima do horizonte e que dá o nome à Latitude).

- **Zênite** do observador (cuja posição na esfera celeste é definida pela Latitude e Longitude correspondentes à posição estimada ou assumida).

- **Astro observado** (posição do astro na esfera celeste, no instante da observação).

b. LADOS

- **Colatitude (c)** = $90^\circ - \text{Lat}$ (complemento da Latitude).

- **Distância zenital (z)** = $90^\circ - a$ (complemento da altura).

- **Distância polar (p)** = $90^\circ \pm \text{Dec}$ (se a Latitude e a Declinação são de mesmo nome, $p = 90^\circ - \text{Dec}$; se são de nomes opostos, $p = 90^\circ + \text{Dec}$).

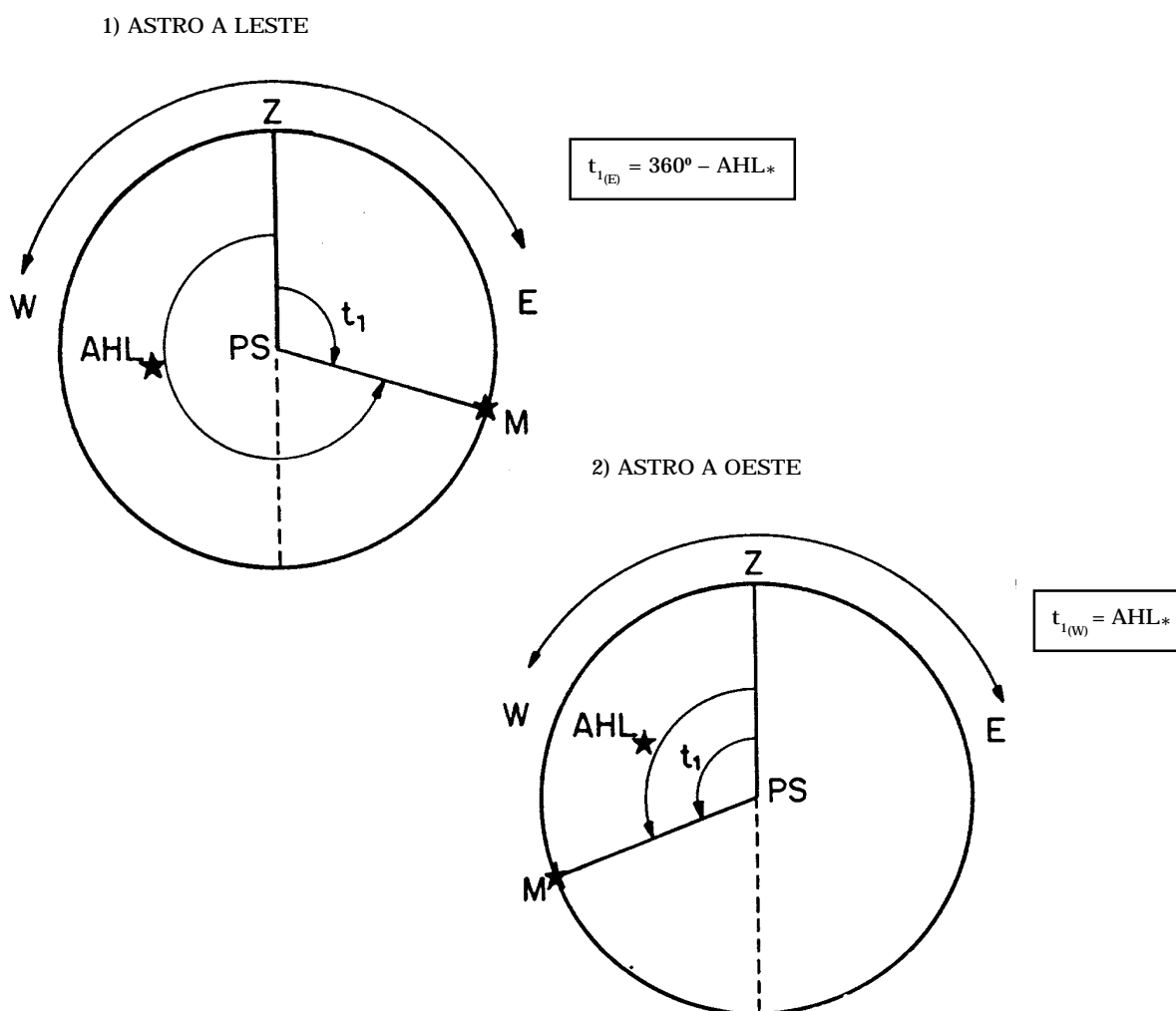
c. ÂNGULOS

- **Ângulo no Pólo (t_1)**: é o ângulo no pólo elevado, entre o **meridiano superior** do observador e o **círculo horário do astro**, medido de 000° a 180° , para Leste ou para Oeste do **meridiano superior**. Na figura 20.2 podem ser visualizadas as relações entre o **Ângulo no Pólo (t_1)** e o **Ângulo Horário Local (AHL)** do astro:

$$\text{Astro a Leste : } t_1 = 360^\circ - \text{AHL}^*$$

$$\text{Astro a Oeste : } t_1 = \text{AHL}^*$$

Figura 20.2 - O Ângulo no Pólo e suas Relações com o AHL



A única diferença entre o **Ângulo Horário Local (AHL)** e o **Ângulo no Pólo (t_1)** de um astro (num determinado instante) é que o **AHL** é sempre medido para Oeste (de 000° a 360°), enquanto que t_1 é o menor ângulo entre o **meridiano superior do observador** e o **círculo horário do astro**, sendo medido de 000° a 180°, para Leste ou para Oeste do meridiano do observador.

O **Ângulo no Pólo** recebe sempre um sufixo (ou designação), indicando a direção na qual ele é medido, a partir do **meridiano superior** do observador.

Astro a Leste: ângulo no pólo medido para Leste, recebe a designação **E**, isto é, t_1 (**E**).

Astro a Oeste: ângulo no pólo medido para Oeste, recebe a designação **W**, isto é, t_1 (**W**).

Então, pelas relações anteriormente mencionadas, temos:

$$t_1 \text{ (E)} = 360^\circ - \text{AHL}^*$$

$$t_1 \text{ (W)} = \text{AHL}^*$$

- **Ângulo no Zênite (Z):** é o ângulo do **triângulo de posição**, formado no **Zênite** do observador, entre o seu **meridiano superior** e o **vertical do astro**, medido de 000° a 180°, a partir de **meridiano superior** do observador.

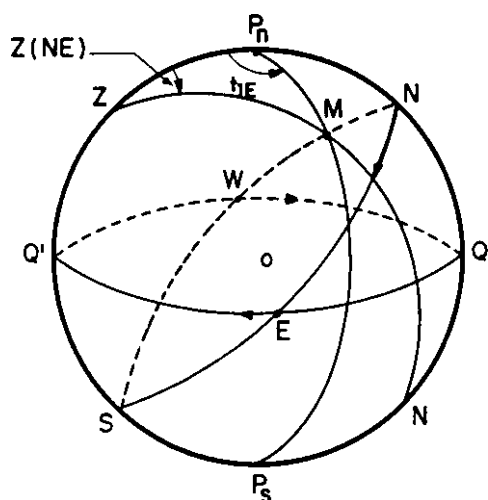
O **Ângulo no Zênite** recebe uma designação dupla:

N ou **S**, dependendo do **pólo elevado**; e

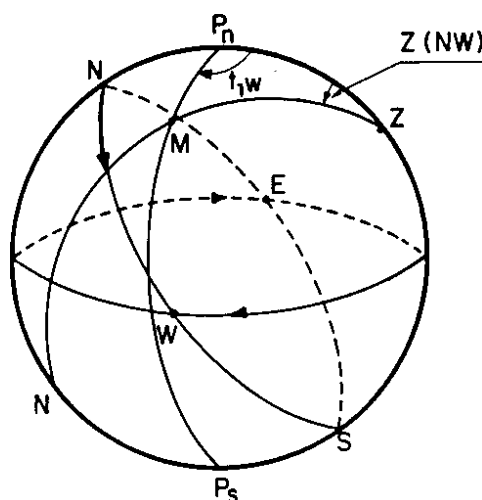
E ou **W**, para indicar em que lado do **meridiano do observador** está o astro no instante da observação (esta segunda designação é a mesma do **Ângulo no Pólo**).

Figura 20.3 - Ângulo no Zênite (Casos Possíveis)

1) OBSERVADOR NA LATITUDE NORTE - ASTRO A LESTE



2) OBSERVADOR NA LATITUDE NORTE - ASTRO A OESTE

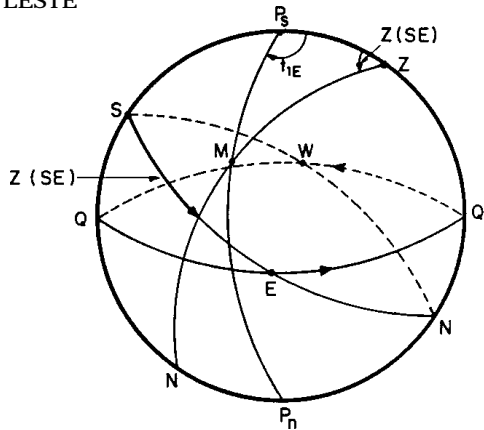


ÂNGULO NO ZÊNITE (Z) MEDIDO DE NORTE PARA LESTE;
Z (NE) É IGUAL AO AZIMUTE VERDADEIRO (Az)

$$\text{Az} = Z \text{ (NE)}$$

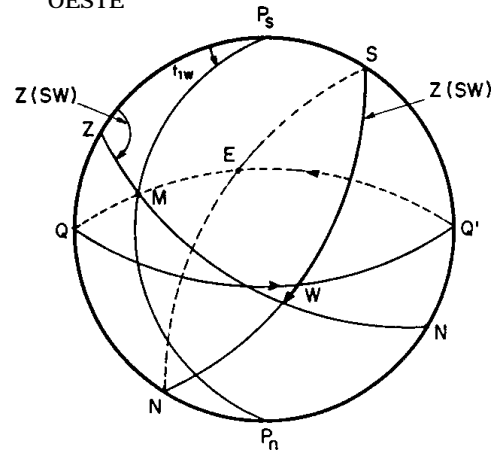
$$\text{Az} = 360^\circ - Z \text{ (NW)}$$

3) OBSERVADOR NA LATITUDE SUL – ASTRO A LESTE



$$Az = 180^\circ - Z (SE)$$

4) OBSERVADOR NA LATITUDE SUL – ASTRO A OESTE



$$Az = 180^\circ + Z (SW)$$

O **Ângulo no Zênite (Z)** pode ser transformado em **Azimuth Verdadeiro (Az)**, utilizando-se as seguintes relações (figura 20.3):

- $Az = Z (NE)$
- $Az = 360^\circ - Z (NW)$
- $Az = 180^\circ - Z (SE)$
- $Az = 180^\circ + Z (SW)$

– **Ângulo paralático**: é o ângulo do **triângulo de posição** formado no astro **M** (entre o **círculo horário** e o **vertical do astro**). Não é utilizado em Navegação Astronômica.

Os oito tipos possíveis de **triângulo de posição** estão mostrados na figura 20.4.

20.4 ELEMENTOS CONHECIDOS E ELEMENTOS A CALCULAR NO TRIÂNGULO DE POSIÇÃO

a. ELEMENTOS CONHECIDOS

Como mencionamos, ao observar a altura do astro o navegante conhece sua **posição estimada**, logo, conhece sua **Latitude Estimada** e sua **Longitude Estimada**. Com a **Latitude Estimada**, obtém a **colatitude** ($c = 90^\circ - Lat$). Este é o primeiro elemento conhecido do **triângulo de posição**.

No instante da medição de altura, o navegante anota a **hora exata da observação**. Com esta hora, transformada em **Hora Média de Greenwich (HMG)**, e a Longitude estimada, obtém as **coordenadas horárias do astro (AHL e Dec)**. Com a **Declinação**, obtém a **distância polar** ($p = 90^\circ \pm Dec$), que é o segundo elemento conhecido do **triângulo de posição**. Com o **AHL**, determina o **Ângulo no Pólo** (t_1), que é o terceiro elemento conhecido do **triângulo de posição**.

Assim sendo, são os seguintes os **elementos conhecidos** do **triângulo de posição**:

- I – **Colatitude** : $c = 90^\circ - Lat$
- II – **Distância polar**: $p = 90^\circ \pm Dec$
- III – **Ângulo no pólo** : t_1 , onde $t_1 (W) = AHL$
 $t_1 (E) = 360^\circ - AHL$

b. ELEMENTOS A CALCULAR

I – **Distância zenital (z)**

II – **Ângulo no Zênite (Z)**

OBSERVAÇÃO:

O **ângulo paralático**, formado no astro, não é usado em **Navegação Astronômica**; por isso não é calculado quando se resolve o **triângulo de posição**.

20.5 SOLUÇÃO DO TRIÂNGULO DE POSIÇÃO

Um dos casos de solução do **triângulo de posição**, por trigonometria esférica, é quando se conhecem dois lados do triângulo e o ângulo formado entre eles.

No nosso caso, conhecemos dois lados, a **colatitude (c)** e a **distância polar (p)**, e o ângulo formado entre eles, o **Ângulo no Pólo (t_p)**. Assim, podemos resolver o **triângulo de posição** e determinar os outros elementos que nos interessam: a **distância zenital do astro (z)** e o **Ângulo no Zênite (Z)**.

Com estes elementos, determinamos a **altura calculada do astro** ($ae = 90^\circ - z$) e o **Azimute Verdadeiro do Astro (Az)**, obtido a partir do **Ângulo no Zênite**, que nos permitirão, em conjunto com a **altura verdadeira do astro (a)**, obtida após várias correções, a partir da **altura instrumental** medida com o sextante, traçar uma **linha de posição do navio**.

Normalmente, o navegante resolve o **triângulo de posição** por **Tábuas** ou por **máquinas de calcular pré-programadas**. Entretanto, podem ser utilizadas as fórmulas abaixo, que fornecem diretamente a **altura calculada do astro (ae)** e o **Ângulo no Zênite (Z)**, transformado, posteriormente, em **Azimute Verdadeiro do astro (Az)**.

$$ae = \text{arc sen} (\text{sen Lat} \cdot \text{sen Dec} + \text{cos Lat} \cdot \text{cos Dec} \cdot \text{cos AHL})$$

$$Z = \text{arc cos} \frac{(\text{sen Dec} - \text{sen Lat} \cdot \text{sen ae})}{(\text{cos ae} \cdot \text{cos Lat})}$$

NOTAS:

1. Se a **Latitude** e a **Declinação** forem de **nomes contrários**, entrar a **Declinação** com **sinal negativo**.

2. O **Ângulo no Zênite (Z)** deve ser convertido para **Azimute Verdadeiro (Az)**, usando as fórmulas:

$$Az = Z \text{ (NE)}$$

$$Az = 360^\circ - Z \text{ (NW)}$$

$$Az = 180^\circ - Z \text{ (SE)}$$

$$Az = 180^\circ + Z \text{ (SW)}$$