

2018/2º semestre

GA160 TÓPICOS EM ASTRONOMIA

PROFa. Dra. MARIA APARECIDA ZEHNPFENNIG ZANETTI
PROF. Dr. LUIS AUGUSTO KOENIG VEIGA

EMENTA

- Métodos Astronômicos para determinação de coordenadas (latitude e longitude) astronômicas. Método de determinação astronômica do azimute. Teoria e Prática.

◦ CH Total: 60

CH semanal: 04

Padrão: 30

Campo: 30

PROGRAMA

- **1. CONCEITOS BÁSICOS**
 - 1.1. Introdução
 - 1.2 Coordenadas geodésicas
 - 1.3 Coordenadas astronômicas
 - 1.4 Determinações astronômicas
 - 1.5 Precisão
 - 1.6 Instrumental utilizado em determinações astronômicas
- **2. SISTEMAS DE COORDENADAS ASTRONÔMICAS**
 - 2.1 Trigonometria esférica
 - 2.2 Sistema de coordenadas horizontais
 - 2.3 Sistema de coordenadas horárias
 - 2.4 Sistema de coordenadas equatoriais
 - 2.5 Sistema de coordenadas eclípticas
 - 2.6 Definição astronômica da latitude
 - 2.7 Transformações entre sistemas de coordenadas
- **3. DETERMINAÇÃO DO MERIDIANO**
 - 3.1 Expressão geral do azimute da mira
 - 3.2 Método das distâncias zenitais absolutas
 - 3.3 Observações ao sol e às estrelas
- **4. DETERMINAÇÃO DA LATITUDE**
 - 4.1 Método das passagens meridianas
 - 4.2 Método das distâncias zenitais absolutas
- **5. DETERMINAÇÃO DA HORA**
 - 5.1 Método das passagens meridianas
 - 5.3 Métodos das distâncias zenitais absolutas
 - 5.3.1 Operações de campo
 - 5.3.2 Observações ao sol
 - 5.4 Método de Zinger
 - 5.4.1 Elaboração de programas
 - 5.4.2 Operação de campo
- **6. DETERMINAÇÃO DA LONGITUDE**
 - 6.1 Diferença de hora astronômica entre dois pontos
 - 6.2 Métodos para determinar a longitude
 - 6.2.1. Sinais horários
- **7. INSOLAÇÃO DE PAREDES VERTICAIS**
 - 7.1 Movimento diurno de um astro
 - 7.2 Passagem pelo plano do horizonte
 - 7.3 Passagem pelo Semi-Meridiano Superior
 - 7.4 Estudo da insolação de uma parede vertical no solstício de inverno e de verão
 - 7.5 Exercícios

- **Bibliografia básica da disciplina:**
 - GEMAEI, C. **Introdução a Astronomia Esférica I**. 1980, DAST. UFPR. Curitiba
 - HATSCHBACH, F. **Redução de coordenadas celestes e identificação de estrelas em catálogos gravados em fitas magnéticas . Programas em linguagem Fortran IV**. Tese de grau de Mestre em Ciências. 1975. CPGCG, UFPR, Curitiba.
 - HATSCHBACH, F. **Determinações Astronômicas**. Cadernos Técnicos. 1981. DAST. UFPR. Curitiba.
 - NADAL, C.A. **Introdução a trigonometria esférica**. - Aplicações na Astronomia e Cartografia. 1998. UFPR. Curitiba.
 - NADAL, C.A. **Insolação de paredes verticais**. 1997. DAEC. UFPR, Curitiba.
 - NADAL, C.A. **Determinação do azimute de uma direção pelo método das distâncias zenitais absolutas com observações ao sol**. UFPR. 1999. Curitiba.
 - SÃO JOÃO, J.C. **Astronomia de Campo. Notas de Aula**. 2003. UFPR. Curitiba.
 - OBSERVATÓRIO NACIONAL. **Anuário do Observatório Nacional 2018**. Disponível em: <http://www.on.br/index.php/pt-br/conteudo-do-menu-superior/34-acessibilidade/379-anuario-do-observatorio-nacional-2018.html> . Acesso em jul 2018.
- E na preparação notas de aulas pessoais das disciplinas:
- Determinações Astronômicas com professor Fernando Hatschbach em 1979 (Engenharia Cartográfica).
- Astronomia Geodésica I com professor Fernando Hatschbach em 1985 (CPGCG).
- Astronomia Geodésica II com professor Fernando Hatschbach em 1986 (CPGCG).

- **Proposta para 2018/2**

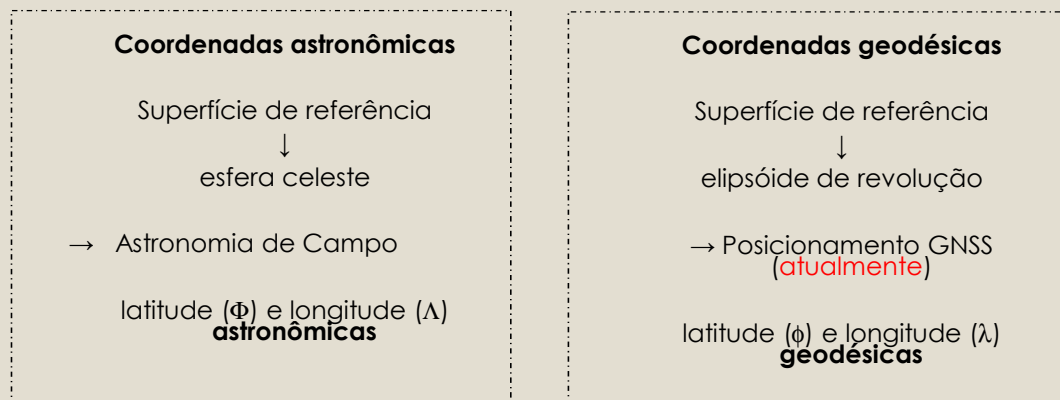
- **Aulas teóricas e exercícios:** Trigonometria esférica; sistemas de coordenadas esféricas; métodos de determinação de azimuth da mira, latitude e longitude; insolação de paredes verticais e sombra de uma haste vertical.
- **Aulas práticas:** treinamento com o teodolito Wild T2; determinações expeditas de azimuth da mira e latitude; determinações de 2ª. ordem
- **AVALIAÇÃO:** média dos trabalhos práticos e de uma avaliação escrita, compondo a nota final na disciplina da seguinte maneira:

$$Média_Final = \frac{\left(\frac{\sum T.P.'s}{n^{\circ} T.P.'s} \right) + T.E.}{2}$$

1. CONCEITOS BÁSICOS

- **1.1 Introdução**

Coordenadas geográficas: definem um ponto na superfície da Terra.



Coordenadas geodésicas

Superfície de referência

↓
elipsoide de revolução

→ Posicionamento GNSS
(**atualmente**)

latitude (ϕ) e longitude (λ)
geodésicas



Mas como era **ANTES** do GNSS?

Determinavam-se as coordenadas astronômicas de um ponto inicial chamado DATUM e um azimute inicial por **Astronomia** e a partir destes realizava-se transporte de coordenadas por Geodésia através das redes de triangulação e trilateração.

Vértices de Laplace: pontos da rede fundamental onde se efetuavam determinações astronômicas de longitude e azimute com o objetivo de reorientação da rede ou onde se desejava determinar a ondulação geoidal.

1.2 Coordenadas geodésicas

- **Latitude geodésica ou elipsóidica ϕ :** ângulo entre a normal ao elipsoide que passa por **P** e o plano equatorial elipsóidico.
- **Longitude geodésica ou elipsóidica λ :** ângulo formado entre o eixo e a projeção sobre o plano equatorial, da normal ao elipsoide nesse ponto.

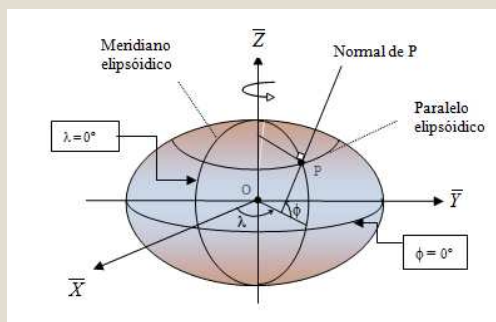
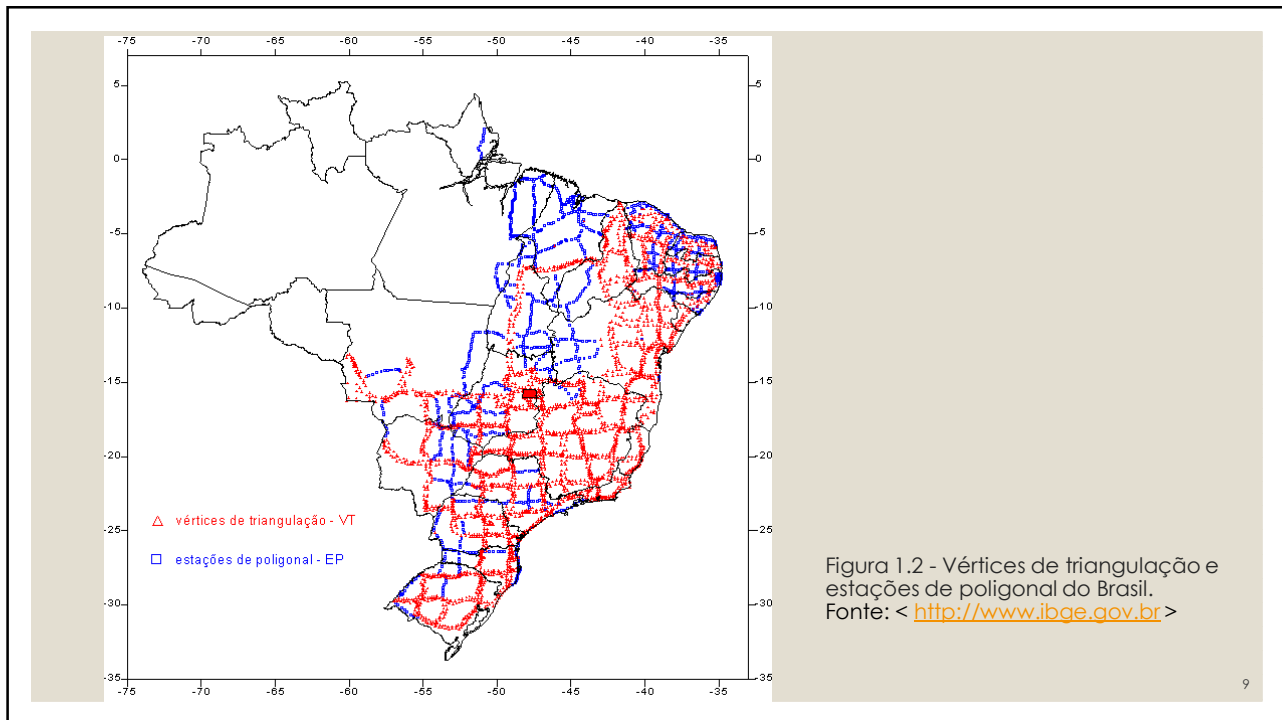
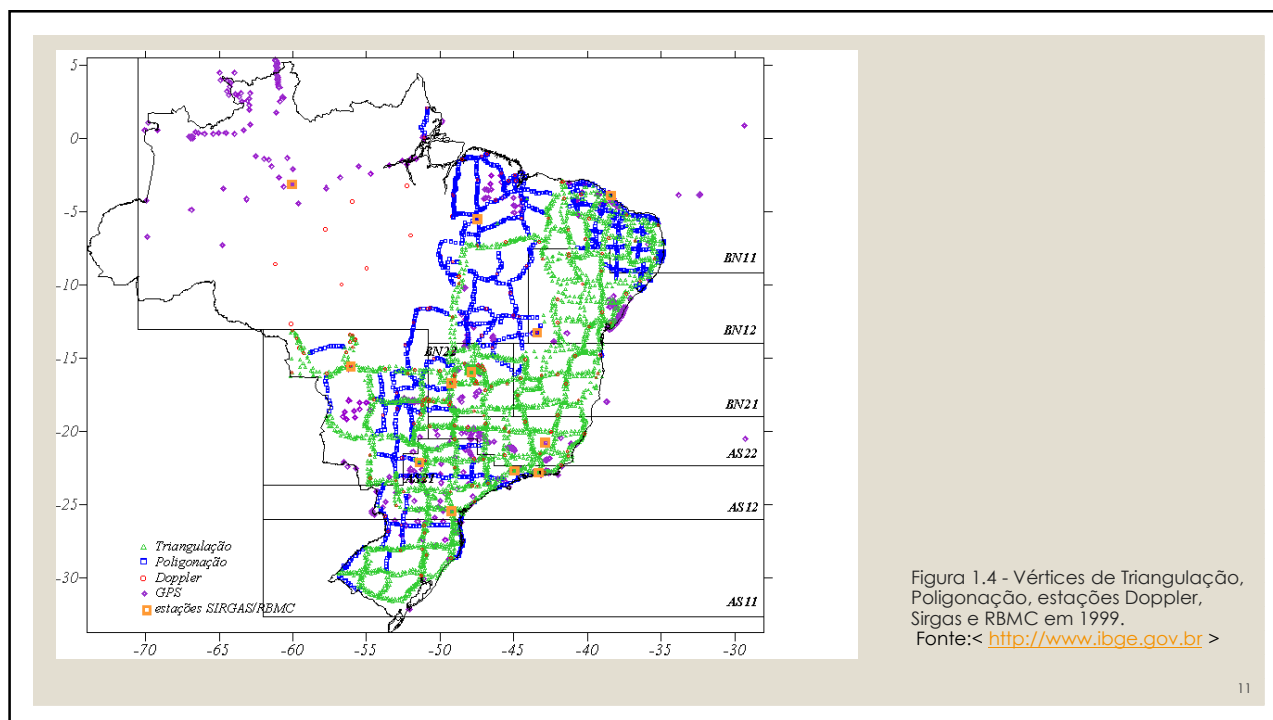


Figura 1.1 - Coordenadas Geodésicas.





11



Torre geodésica, que alcançava até 38 m, utilizada em triangulações para realizar visadas mais longas.

Figura 1.6 - Torre Bilby.

Fonte: < http://www.geod.mcan.gc.ca/index_e/geodesy_e/ >



13

◦ 1.3 Coordenadas astronômicas

- **Latitude astronômica** Φ : ângulo formado pela vertical do ponto (direção do vetor intensidade da gravidade g) com a sua projeção equatorial, sendo positiva no H.N. e negativa no H.S. variando de 0° a $\pm 90^\circ$.
- **Longitude astronômica** Λ : ângulo diedro formado pelo meridiano astronômico do ponto (local) com o meridiano origem de Greenwich. Varia de 0° a 360° ou 0 h a 24 h ou 0° a $\pm 180^\circ$ ou 0 h a ± 12 h convencionalmente considerada positiva se contada por leste de Greenwich e negativa se contada por oeste de Greenwich.

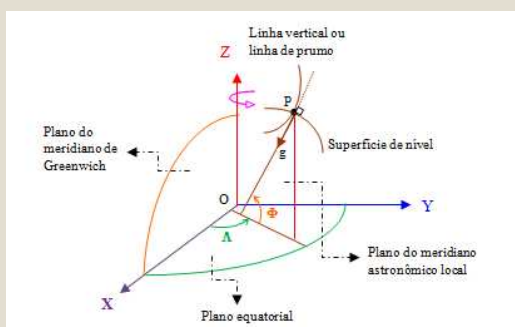


Figura 1.7 - Coordenadas Astronômicas.

1.4 Determinações Astronômicas



Observação de **astros** com

um **teodolito** e um **cronômetro**

medidas angulares

medidas de tempo

determinação da posição geográfica
coordenadas de um ponto na S.F. (ϕ, λ)

e

determinação da linha N-S verdadeira ou
azimute de uma direção



Figura 1.8 – Teodolito Wild T2. Fonte:
<https://www.ebay.com/itm/Excellent-Wild-T2-Theodolite-Heerbrugg-Switzerland-S-N-101188-Free-Shipping-/302643108242>



Figura 1.9 - Cronometro Ulisses Nardin.
Fonte:
<http://www.ov.ufrj.br/museuvirtual/cronometro-ulysses-nardin-2/>

- **Astro**: todo corpo luminoso ou não isolado no espaço. Podem ser fixos ou errantes.
 - **Astro fixo** (estrelas): aproximada constância de suas distâncias angulares; apresentam cintilação (fenômeno que consiste em variação rápida e irregular da intensidade da luz; espectro luminoso próprio; pontos luminosos mesmo no telescópio;
 - *Astros fixos se deslocam no espaço, porém seu movimento aparente na E.C. é desprezível*
 - *Estrela "Flecha de Barnard" apresenta deslocamento aparente mais acentuado ~10"/ano;*
 - *"Próxima": astro fixo mais próximo da Terra dista 4,2 anos luz*
 - *1 ano luz = distância percorrida por um raio luminoso em um ano ~ 9,5 trilhões km*
 - **Astros errantes**: distâncias angulares não constantes; luz fixa; não possuem cintilação; no telescópio aparecem como discos;
- **Magnitude** ou grandeza aparente de uma estrela: brilho com que um astro se mostra aos nossos olhos ou aos instrumentos óticos. As estrelas são classificadas em função de seu brilho aparente, independentemente de suas dimensões.

1.5 Precisão das determinações astronômicas

QUADRO I – CLASSIFICAÇÃO DAS DETERMINAÇÕES ASTRONÔMICAS QUANTO À PRECISÃO DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO - PR nº 22, de 21-07-83.

CLASSE	ERRO PADRÃO DE ϕ OU λ		ERRO PADRÃO DO AZIMUTE	
	Desejável	Máximo	Desejável	Máximo
Alta precisão	0,1"	0,3"	0,2"	0,4"
Precisão	0,4"	1,0"	0,5"	1,5"
Local	1,5"	2,0"	3,0"	3,0"

Fonte: < <http://www.ibge.gov.br> > Acesso em 05 jul. 2018.

QUADRO II – PRECISÃO DAS DETERMINAÇÕES ASTRONÔMICAS SEGUNDO DSG.

PRECISÃO	ERRO MÉDIO	POSIÇÃO DO PONTO
1ª ordem	$\sigma \leq 0,1''$	raio ≤ 3 m
2ª ordem	$\sigma \leq 1''$	raio ≤ 30 m
Exedita	$\sigma \geq 1''$	raio ≥ 30 m

1° ≈ 111 km
0,1" ≈ 3 m

Fonte: HATSCHBACH, F. Determinações Astronômicas. 1981.

◦ 1.6 Instrumental utilizado em determinações astronômicas

- Para obtenção de posição geográfica de 2ª. Ordem
 - Teodolito de 1" (leitura estimada até o décimo de segundo). Ex.: Wild T2, Kern DKM2 e similares;
 - Cronômetro de quartzo médio ou sideral;
 - Rádio receptor de ondas curtas para recepção da Rádio Relógio Federal , LOL de B.A. ou WWV de Washington (faixa de 25 a 19 m);
 - Efemérides Astronômicas do Observatório Nacional (<http://www.on.br/index.php/pt-br/conteudo-do-menu-superior/34-acessibilidade/379-anuario-do-observatorio-nacional-2018.html>) ou Apparent Places os Fundamental Stars (<https://www.dpunkt.de/buecher/13222/9783864905742-apparent-places-of-fundamental-stars-%28apfs%29-2018.html>);
 - Calculadora eletrônica;
 - Termômetro e aneróide aferidos;
 - Acessórios do teodolito: ocular de cotovelo, nível de cavalete, dispositivos de iluminação;
 - Atlas celeste que permita identificar as estrelas no céu;
 - Papel, lápis, borracha, cadernetas, pilhas sobressalentes.



Figura 1.10 – Nível de cavalete. Fonte: http://www.sage.unsw.edu.au/currentstudents/ug/projects/f_pall/html/t29.html

Utilizado para corrigir leituras horizontais do erro de horizontalismo.

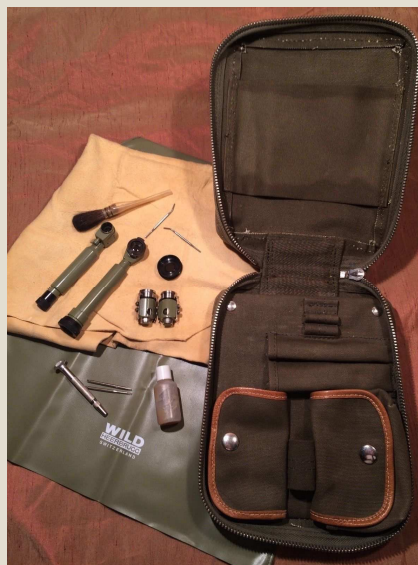


Figura 1.11 – Conjunto de oculares de cotovelo, lâmpadas e chaves de retificação do teodolito Wild T2. Fonte: <https://www.ebay.com/itm/ULTIMATE-WILD-HEERBRUGG-T-2-THEODOLITE-ACCESSORY-CASE-DIAGONAL-EYEPIECE-LAMPS-/253736887372?oid=253328365387>



Wild-Heerbrugg T2 with integrated autocollimation eyepiece and battery box

Figura 1.12 - Teodolito Wild T2 e sistema de iluminação. Fonte: <http://opticaltooling.tripod.com/>

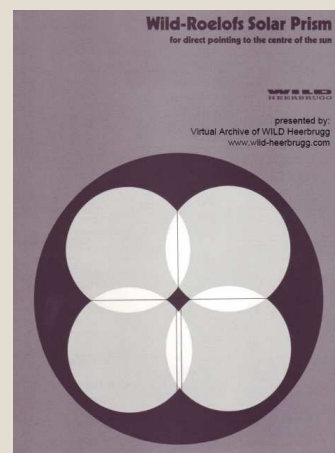


Figura 1.13- Prisma de Roelofs. Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-687932402-prisma-solar-de-roelofs-_JM e http://www.wild-heerbrugg.com/shop/product_info.php?products_id=469



Figura 1.14 – Teodolito Wild T4. Fonte: <http://www.ov.ufrj.br/museuvirtual/teodolito-t4-com-acessorios/>



Figura 1.15 – Teodolito Wild T2 e distanciômetro eletrônico acoplado. Fonte: http://www.dehilster.info/geodetic_instruments/1976-1979-wild-t2-mod-di4.php



Figura 1.16 – Adaptação para o distanciômetro eletrônico. Fonte: http://www.dehilster.info/geodetic_instruments/1976-1979-wild-t2-mod-di4.php.

2. SISTEMAS DE COORDENADAS

◦ 2.1 Trigonometria esférica

- **Superfície esférica:** lugar geométrico dos pontos do espaço que equidistam de um ponto interior chamado centro. Seccionando a superfície esférica tem-se circunferências....
 - **Máximas:** contém o centro → dividem a esfera em duas partes iguais;
 - **Menores :** não contém o centro;
- **Triângulo esférico:** porção da superfície esférica limitada por três arcos de circunferências máximas
- **Resolver um triângulo plano:** dados **dois** elementos → calcular os outros **quatro**
- **Resolver um triângulo esférico:** dados **três** elementos → calcular os outros **três**
- ∴
- **para calcular um triângulo esférico são utilizados 4 elementos: 3 dados e 1 incógnita**
- **Polar:** lugar geométrico dos pontos da superfície esférica equidistante 90° de um ponto chamado polo. Cada polar admite dois polos.

2.1 Trigonometria esférica

A todo triângulo esférico corresponde um triedro com vértice no centro da superfície esférica a qual pertence o triângulo.

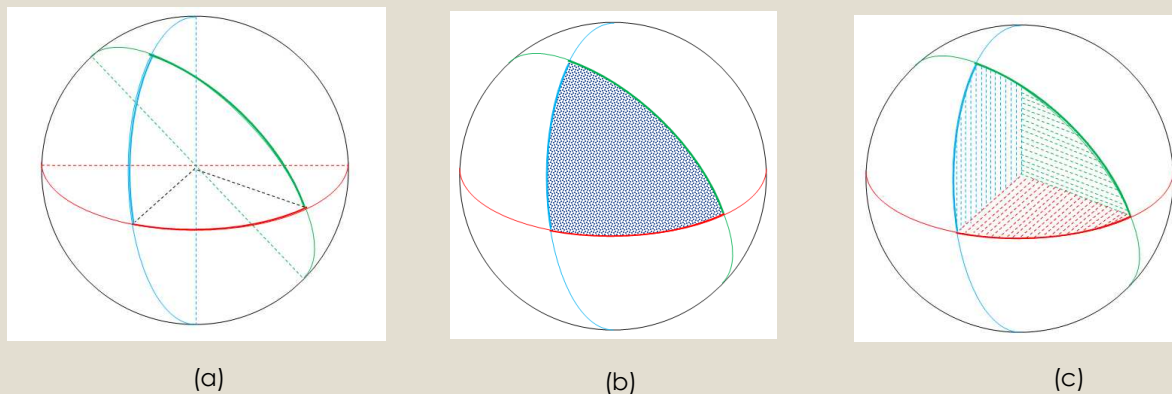


Figura 2.1 - Triângulo esférico.

2.1 Trigonometria esférica

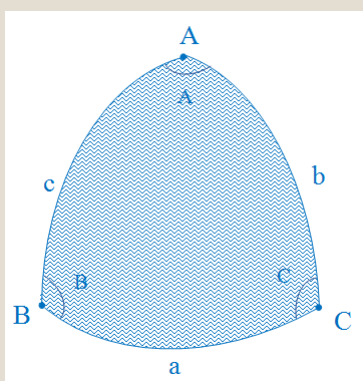


Figura 2.2 – Lados e ângulos de um triângulo esférico.

- Os ângulos do triângulo esférico são medidos pelos diedros do triedro;
- Os lados do triângulo esférico são medidos pelos ângulos planos das faces do diedro;

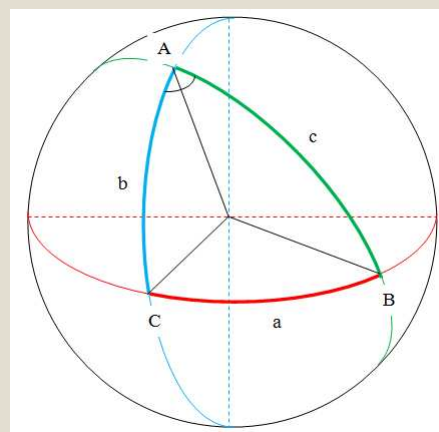


Figura 2.3 – Medidas de ângulos e lados de um triângulo esférico.

2.1 Trigonometria esférica

- **Polar:** lugar geométrico dos pontos da superfície esférica equidistante 90° de um ponto chamado polo. Cada polar admite dois polos.

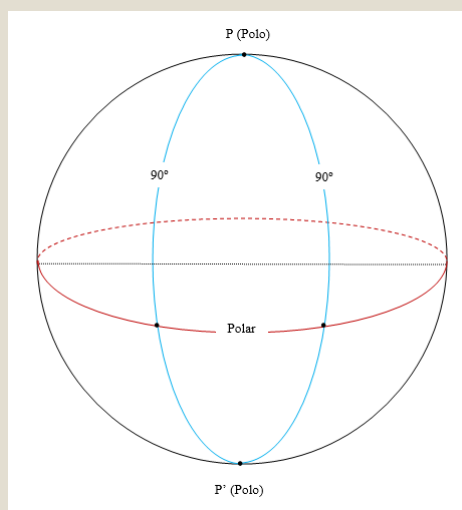


Figura 2.4 – Polar.

2.1 Trigonometria esférica

- Dois triângulos são polares quando os vértices de um são polos dos lados do outro
- Teorema dos Triângulos Polares

$A + a' = 180^\circ$	$A' + a = 180^\circ$
$B + b' = 180^\circ$	$B' + b = 180^\circ$
$C + c' = 180^\circ$	$C' + c = 180^\circ$

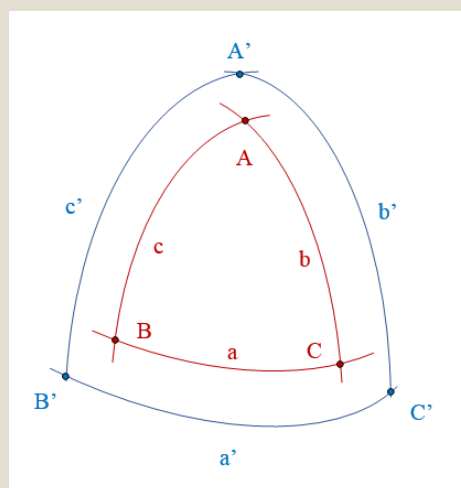


Figura 2.5 – Triângulos polares.

2.1 Trigonometria esférica

- Propriedades dos triângulos esféricos

$$180^\circ < A + B + C < 540^\circ$$

- Excesso esférico (ϵ) f(ângulos):

$$\epsilon = A + B + C - 180^\circ$$

- Excesso esférico (ϵ) f(lados) Fórmula de L'Huilier:

$$\operatorname{tg}^2 \frac{1}{4} \epsilon = \operatorname{tg} \frac{1}{2} s \times \operatorname{tg} \frac{1}{2} (s - a) \times \operatorname{tg} \frac{1}{2} (s - b) \times \operatorname{tg} \frac{1}{2} (s - c)$$

$$2s = a + b + c \quad (s = \text{perímetro})$$

- Área(S) de um triângulo esférico (R = raio da esfera)

$$S = R^2 \times \operatorname{sen} 1^\circ \times \epsilon$$

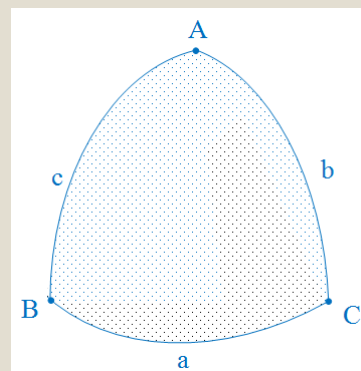


Figura 2.6 – Triângulo esférico.

2.1 Trigonometria esférica

- Equações fundamentais**

- Fórmula dos 4 elementos relativa a lados ou lei dos cossenos (3 lados e 1 ângulo):

$$\cos a = (\cos b \times \cos c) + (\operatorname{sen} b \times \operatorname{sen} c \times \cos A)$$

$$\cos b = (\cos a \times \cos c) + (\operatorname{sen} a \times \operatorname{sen} c \times \cos B)$$

$$\cos c = (\cos b \times \cos a) + (\operatorname{sen} b \times \operatorname{sen} a \times \cos C)$$

- Fórmula dos 4 elementos relativa a ângulos ou lei dos cossenos (3 ângulos e 1 lado):

$$\cos A = -(\cos B \times \cos C) + (\operatorname{sen} B \times \operatorname{sen} C \times \cos a)$$

$$\cos B = -(\cos A \times \cos C) + (\operatorname{sen} A \times \operatorname{sen} C \times \cos b)$$

$$\cos C = -(\cos B \times \cos A) + (\operatorname{sen} B \times \operatorname{sen} A \times \cos c)$$

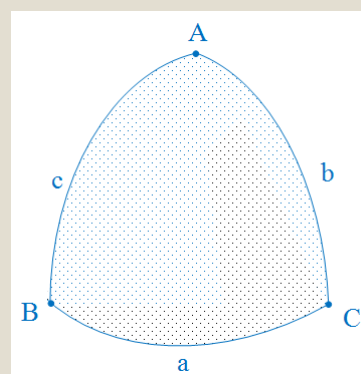


Figura 2.6 – Triângulo esférico.

2.1 Trigonometria esférica

◦ Equações fundamentais

- Analogia dos senos (2 ângulos e 2 lados opostos):

$$\frac{\text{sen}A}{\text{sena}} = \frac{\text{sen}B}{\text{senb}} = \frac{\text{sen}C}{\text{senc}}$$

- Fórmula das cotangentes (2 ângulos e 2 lados não opostos):

$$\text{sen } a \times \cotg c = (\text{sen } B \times \cotg C) + (\cos a \times \cos B)$$

$$\text{sen } a \times \cotg b = (\text{sen } C \times \cotg B) + (\cos a \times \cos C)$$

$$\text{sen } b \times \cotg a = (\text{sen } C \times \cotg A) + (\cos b \times \cos C)$$

$$\text{sen } b \times \cotg c = (\text{sen } A \times \cotg C) + (\cos b \times \cos A)$$

$$\text{sen } c \times \cotg a = (\text{sen } B \times \cotg A) + (\cos c \times \cos B)$$

$$\text{sen } c \times \cotg b = (\text{sen } A \times \cotg B) + (\cos c \times \cos A)$$

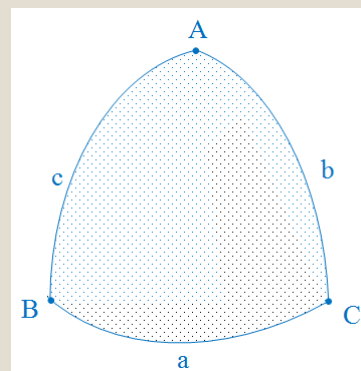


Figura 2.6 – Triângulo esférico.

2.1 Trigonometria esférica

◦ Equações fundamentais

- Fórmula dos cinco elementos (3 lados e 2 ângulos)

$$\text{sen } b \times \cos C = (\text{sen } a \times \cos c) - (\cos a \times \text{sen } c \times \cos B)$$

$$\text{sen } b \times \cos A = (\text{sen } c \times \cos a) - (\cos c \times \text{sen } a \times \cos B)$$

$$\text{sen } a \times \cos B = (\text{sen } c \times \cos b) - (\cos c \times \text{sen } b \times \cos A)$$

$$\text{sen } a \times \cos C = (\text{sen } b \times \cos c) - (\cos b \times \text{sen } c \times \cos A)$$

$$\text{sen } c \times \cos A = (\text{sen } b \times \cos a) - (\cos b \times \text{sen } a \times \cos C)$$

$$\text{sen } c \times \cos B = (\text{sen } a \times \cos b) - (\cos a \times \text{sen } b \times \cos C)$$

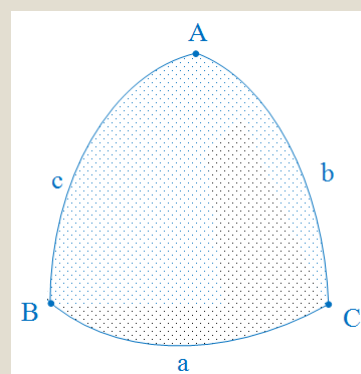


Figura 2.6 – Triângulo esférico.

2.1 Trigonometria esférica

◦ Triângulos esféricos retângulos

◦ Fórmula dos 4 elementos relativa a lados

$$\cos a = (\cos b \times \cos c) + (\sin b \times \sin c \times \cos A)$$

$$\cos a = (\cos b \times \cos c)$$

MAUDUIT (Regra mnemônica – não tem demonstração)

“O **co**sseno do elemento médio é igual ao produto das **co**tangentes dos elementos **co**njuntos **O**U igual ao produto dos **se**nos dos elementos **se**parados.”

◦ Observações:

◦ O ângulo reto é ignorado;

◦ Os catetos devem ser tomados como complementos;

cos = co_co = se _ se

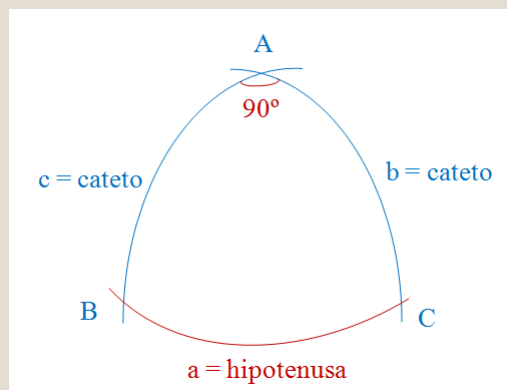


Figura 2.7 – Triângulo esférico retângulo.

$$\cos B = \cotg(90^\circ - c) \times \cotg a$$

$$\cos C = \sin B \times \sin (90^\circ - c)$$

2.1.1 Sistema de coordenadas esféricas

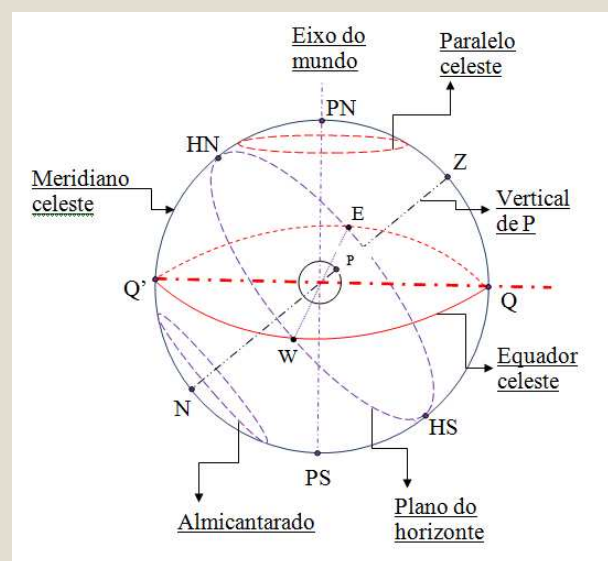


Figura 2.8 – Esfera celeste.

◦ **Esfera celeste (EC):** esfera ideal de raio arbitrário cujo centro coincide com o centro de gravidade da Terra onde supomos engastados todos os astros com movimento APARENTE (decorrente do movimento de rotação da Terra) de E → W

◦ Segundo o Professor Camil Gemael:

◦ “Pura criação da imaginação humana, temos dela uma impressão quase real quando, nas noites estreladas, assistimos ao espetáculo deslumbrante de uma abóboda negra, salpicada de pontos brilhantes, deslocar-se como um todo, do nascente para o poente.”

◦ Supõem-se Terra fixa e esfera celeste girando;

◦ PN Celeste: α Umi (Ursa Minoris ~1°PN)

◦ PS Celeste: σ Octantis (~55° PS)

◦ Nos problemas de Astronomia de Campo não interessa a distância aos astros e sim a direção

2.1.1 Sistema de coordenadas esféricas

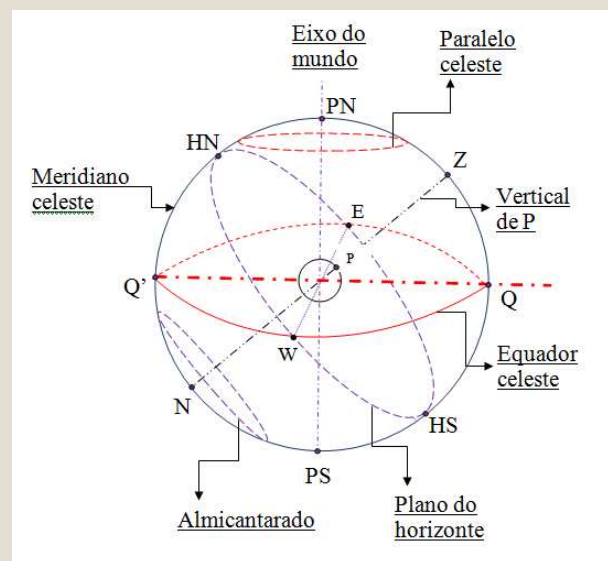


Figura 2.8 – Esfera celeste.

- **Eixo do mundo:** reta imaginária prolongação do eixo de rotação da Terra em torno do qual a esfera celeste gira de leste para oeste;
- **Polos celestes:** dois pontos da superfície esférica diametralmente opostos, determinados pelo eixo do mundo;
- **Equador celeste:** circunferência máxima cujo plano corta perpendicularmente o eixo do mundo dividindo a esfera celeste em dois hemisférios, Norte e Sul;
- **Paralelos celestes:** circunferências menores paralelas ao equador. Um astro fixo descreve diariamente um paralelo celeste;
- A vertical de um observador encontra a esfera celeste em dois pontos diametralmente opostos, **zênite (Z)** e **nadir (N)**;
- **Horizonte:** círculo máximo polar do zênite e do nadir; círculo que passa pelo centro da esfera e perpendicular à vertical do lugar; divide a esfera em dois hemisférios, o visível e o invisível;
- **Almicantarado:** círculos de igual altura paralelos ao horizonte;
- **Meridianos celestes:** circunferências máximas cujo plano contém o eixo do mundo;

2.1.1 Sistema de coordenadas esféricas

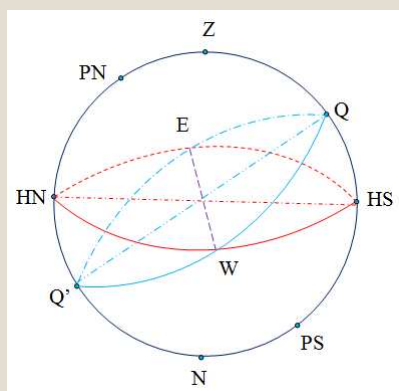


Figura 2.9 – Linha E-W.

- **Meridiano celeste do observador:** circunferência máxima da EC cujo plano é definido pelo eixo de rotação e pela vertical do observador;
- ou meridiano celeste que contém o zênite e o nadir do observador. O eixo do mundo o divide em duas partes: semi meridiano superior (SMS) contém o zênite e semi meridiano inferior contém o nadir (SMI);
- **Meridiana ou linha N-S:** $\cap$ HnHs do meridiano local com o horizonte local; os extremos desta linha são as projeções segundo o meridiano dos polos Sul e Norte $\rightarrow$ HN e HS;
- **Linha L-W:** $\cap$ E-W do plano do equador com o plano do horizonte.

2.1.1 Sistema de coordenadas esféricas

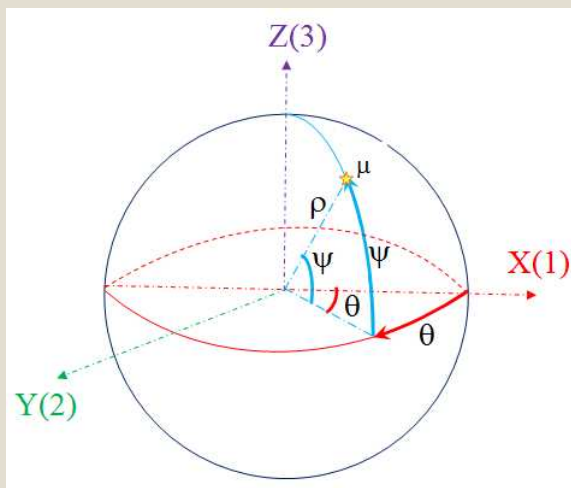


Figura 2.10 – Sistema de coordenadas esféricas.

- Plano fundamental (PF) → Plano XY (único)
- Plano normal (PN) → qualquer plano que contém o eixo Z (infinitos)
- $\rho = \text{constante}$
- **Abscissa esférica θ** : arco de circunferência máxima contido no PF contado a partir do eixo 1 até encontrar o PN que passa pela estrela μ ;
- **Ordenada esférica ψ** : arco de PN que contém o ponto P, contado desde o PF até a estrela μ ;

2.1.1 Sistema de coordenadas esféricas

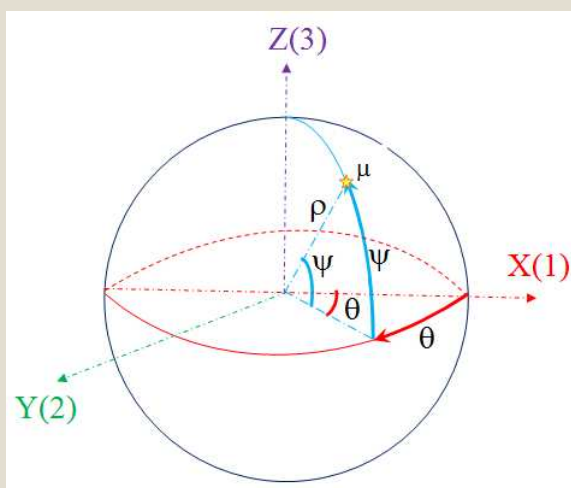


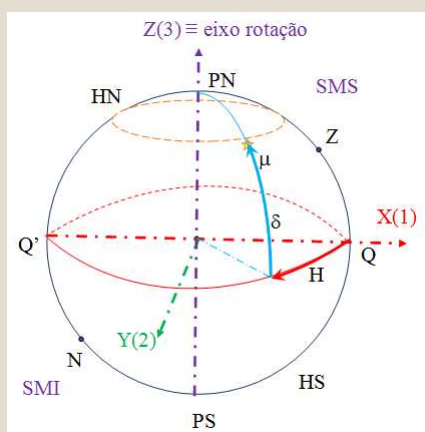
Figura 2.10 – Sistema de coordenadas esféricas.

- **Sistema dextrógiro**: um observador situado na origem O enxerga o eixo 1 sobrepor-se ao eixo 2, de um ângulo de 90° , da DIREITA PARA A ESQUERDA;
- **Sistema levógiro**: um observador situado na origem O enxerga o eixo 1 sobrepor-se ao eixo 2, de um ângulo de 90° , da ESQUERDA PARA A DIREITA;

Dedo da mão	Eixo	Adaptando na mão direita	Adaptando na mão esquerda
Polegar	2	Sistema dextrógiro	Sistema levógiro
Indicador	3		
Pai de todos	1		

- **Lei do movimento diurno dos astros fixos:** os astros fixos, supostos engastados na esfera celeste, giram com ela em torno do eixo do mundo em 24 horas siderais, de leste para oeste, com movimento circular, paralelo, uniforme e isócrono.
- **Movimento circular e paralelo:** as estrelas no movimento diurno descrevem órbitas circulares paralelas ao equador (paralelos celestes);
- **Movimento isócrono:** todas as estrelas próximas ao equador ou aos polos descrevem seus respectivos paralelos em 24 horas siderais;
- **Movimento uniforme:** a velocidade angular das estrelas no movimento diurno é constante e igual a 15° por hora sideral
- **Dia de um astro:** tempo que ele permanece acima do horizonte;
- **Devido a precessão dos equinócios, nutação do eixo terrestre, paralaxe, aberração da luz, e movimento próprio das estrelas estas não descrevem exatamente um paralelo;**
- **Culminação:** instante que o astro atinge sua maior altura.

2.3 Sistema de coordenadas horárias



- PF: $\equiv$ plano do equador
- **Semi-meridiano superior (SMS):** arco PN-Z-Q-HS-PS
- **Semi-meridiano inferior (SMI):** arco PN-HN-Q'-N-PS
- Eixo X(1): $\equiv$ $\cap$ plano equador com plano meridiano celeste do observador $\oplus \rightarrow$ SMS
- Eixo Z(3): $\equiv$ eixo do mundo $\oplus \rightarrow$ PN
- Eixo Y(2): $\equiv$ torna o sistema **levógiro**

Figura 2.13 – Sistema de coordenadas horárias.

2.3 Sistema de coordenadas horárias

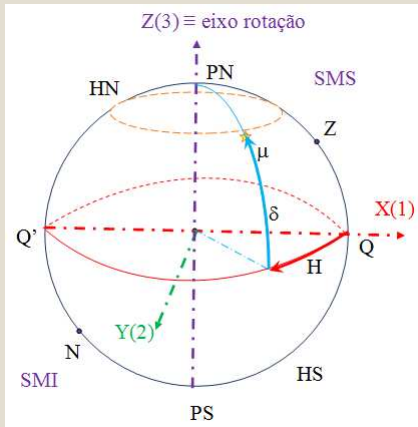


Figura 2.13 – Sistema de coordenadas horárias.

◦ Abscissa esférica

Ângulo Horário (H): arco de equador contado a partir do SMS até o meridiano do astro por oeste;

◦ Ordenada esférica

Declinação (δ): arco do meridiano do astro contado a partir do plano do equador até o astro;

◦ Sistema coordenadas horárias: caráter misto

H → contado a partir do SMS → contém o zênite do observador

δ → não depende do observador

Coordenada	Variação	Sentido
	0° a +/- 180°	⊕ W; ⊖ E
Ângulo horário (H)	0h a +/- 12 h	⊕ W; ⊖ E
	0h a 24 h ou 0° a 360°	⊕ W
Declinação (δ)	0° a +/- 90°	⊕ H.N.; ⊖ H.S.

2.4 Sistema de coordenadas uranográficas ou equatoriais

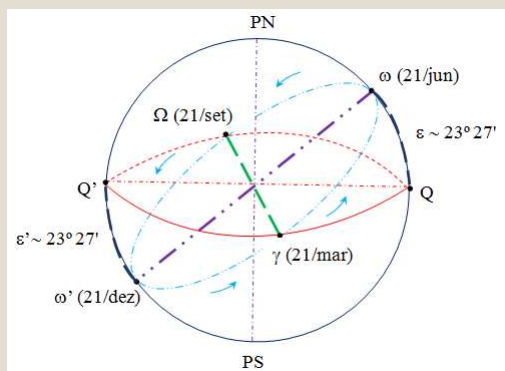


Figura 2.14 – Sistema de coordenadas uranográficas.

◦ 2.4.1 Eclíptica: trajetória do Sol durante um ano em sentido retrógrado;

◦ -> Na realidade a eclíptica é a órbita da Terra;

◦ **Ponto vernal (γ):** ponto que o Sol cruza o equador quando passa do HS para o HN

◦ **Ponto balanço (Ω):** ponto que o Sol cruza o equador quando passa do HN para o HS

◦ **Linha equinocial (Ω – γ):** interseção da eclíptica com o plano do equador

◦ **Linha solsticial (ω – ω')**

◦ **Obliquidade da eclíptica (ε) ~ 23° 27'**

2.4 Sistema de coordenadas uranográficas ou equatoriais

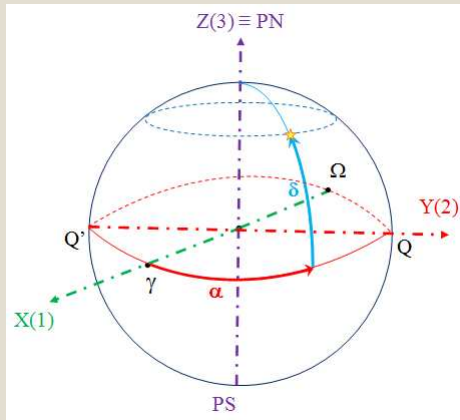


Figura 2.15 – Sistema de coordenadas uranográficas.

Coordenada	Variação	Sentido
Ascensão reta (α)	0h a 24 h	a partir de γ
Declinação (δ)	0° a $\pm 90^\circ$	$\oplus$ H.N.; $\ominus$ H.S.

- PF = Plano do equador celeste
- Eixo X(1): $\equiv$ linha equinocial $\oplus \rightarrow \gamma$;
- Eixo Z(3): $\equiv$ PN-PS; $\oplus \rightarrow$ PN;
- Eixo Y(2): torna o sistema **dextrógiro**;
- **Abscissa esférica**

Ascensão reta (α): arco de circunferência máxima contido no plano do equador contado a partir do Ponto Vernal (γ) até o meridiano do astro;

- **Ordenada esférica**

Declinação (δ): arco do meridiano do astro contado a partir do plano do equador até o astro;

$\delta + p = 90^\circ$ (p = distância polar)

- Não depende da posição do observador nem do tempo
- Sistema de caráter geral $\rightarrow$ **pode ser catalogado**

2.5 Sistema de coordenadas eclípticas

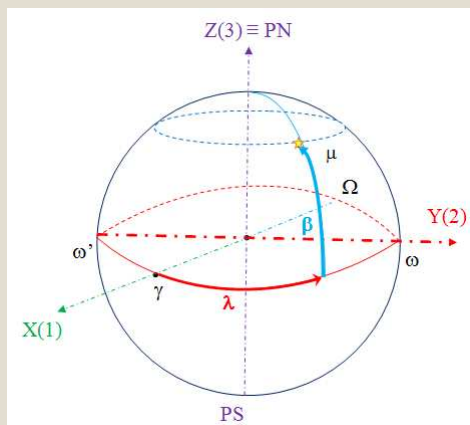


Figura 2.16 – Sistema de coordenadas eclípticas.

Coordenada	Variação	Sentido
Longitude celeste (λ)	0° a 360°	a partir de γ
Latitude celeste (β)	0° a $\pm 90^\circ$	$\oplus$ H.N.; $\ominus$ H.S.

- PF: $\equiv$ plano da eclíptica
- Eixo X(1): $\equiv$ linha equinocial $\oplus \rightarrow \gamma$
- Eixo Z(3): $\equiv$ eixo da eclíptica $\oplus \rightarrow$ PN
- Eixo Y(2): Sistema **dextrógiro**
- **Abscissa esférica**

◦ **Longitude celeste (λ):** arco de equador contada sobre o plano da eclíptica a partir do ponto vernal até o plano de longitude que contém a estrela E;

- **Ordenada esférica**

◦ **Latitude celeste (β):** arco do meridiano do astro contado a partir do plano da eclíptica até o astro;

2.6 Definição astronômica da latitude

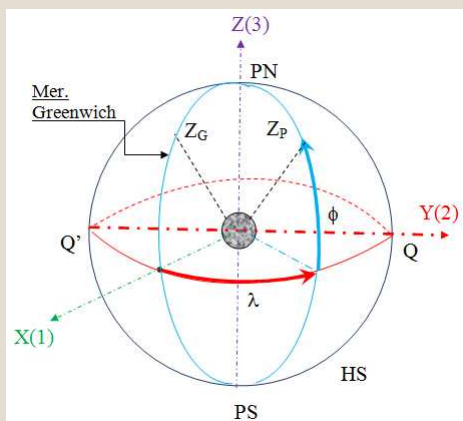


Figura 2.17 – Latitude e longitude astronômicas na esfera celeste.

$$\phi = \delta z = hp$$

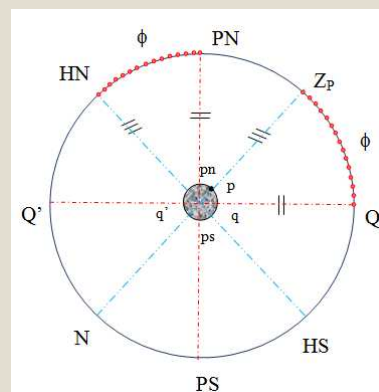


Figura 2.18 – Definição astronômica de latitude.

Latitude
↓
Declinação do zênite
↓
Altura do polo elevado

2.7 Transformações entre sistemas de coordenadas (por trigonometria esférica)

- a) Uranográficas em Horárias e v.v dados ϕ e S

$$\begin{array}{ccc} \alpha & \longleftrightarrow & H \\ \delta & & \delta \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{(H depende do observador e do tempo)} \\ S = H + \alpha \rightarrow H = S - \alpha \quad \text{ou} \quad \alpha = S - H \end{array}$$

- b) Horárias em Horizontais e v.v.

- Dados H, δ, ϕ

Pede-se $A, Z(h)$

2.7 Transformações entre sistemas de coordenadas (por trigonometria esférica)

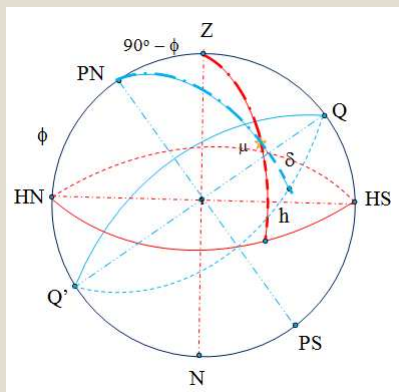


Figura 2.19 – Sistema de coordenadas horizontais e horárias.

Em figuras genéricas PN sempre
acima e a esquerda do zênite

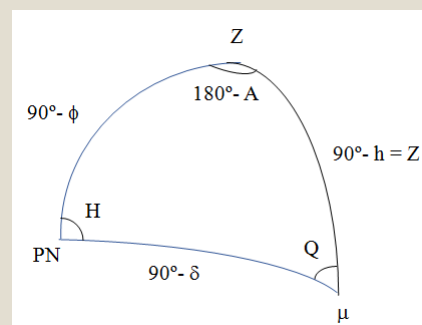


Figura 2.20 – Triângulo de posição.

2.7 Transformações entre sistemas de coordenadas (por trigonometria esférica)

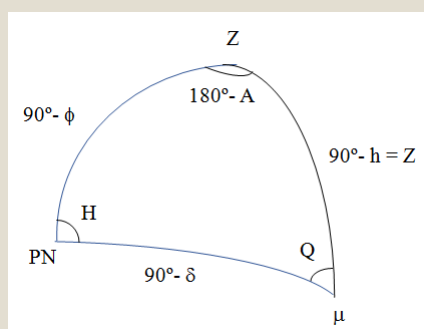


Figura 2.20 – Triângulo de posição.

- b.1) Horárias em Horizontais
 - Dados H, δ, ϕ Pede-se $A, Z(h)$
 - 4 elementos lados
 $\cos(90-h) = \cos(90-\phi)\cos(90-\delta) + \sin(90-\phi)\sin(90-\delta)\cos H$

$\cos Z = \sen h = \sen \phi \sen \delta + \cos \phi \cos \delta \cos H$
 - Cotangentes
 $\sen(90-\phi)\cot g(90-\delta) = \sen H \cot g(180-A) + \cos(90-\phi)\cos H$
 $\cos \phi \tg \delta = -\sen H \cot g A + \sen \phi \cos H$

$$\cot g A = \sen \phi \cot g H - \frac{\cos \phi \tg \delta}{\sen H}$$

2.7 Transformações entre sistemas de coordenadas (por trigonometria esférica)

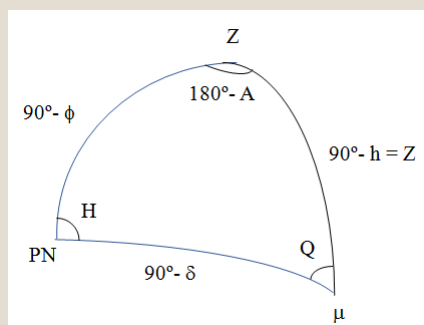


Figura 2.20 - Triângulo de posição.

◦ b.2) Horizontais em Horárias

◦ Dados ϕ , A, Z(h) Pede-se H, δ

◦ 4 elementos lados

$$\cos(90^\circ - \delta) = \cos(90^\circ - \phi) \cos(90^\circ - h) + \sin(90^\circ - \phi) \sin(90^\circ - h) \cos(180^\circ - A)$$

$$\boxed{\text{sen} \delta = \text{sen} \phi \cos Z - \cos \phi \text{sen} Z \cos A}$$

◦ Cotangentes

$$\text{sen}(90^\circ - \phi) \cot g Z = \text{sen}(180^\circ - A) \cot g H + \cos(90^\circ - \phi) \cos(180^\circ - A)$$

$$\cos \phi \cot g Z = \text{sen} A \cot g H - \text{sen} \phi \cos A$$

$$\boxed{\cot g H = \text{sen} \phi \cot g A + \frac{\cos \phi \cot g Z}{\text{sen} A}}$$

RESUMO DOS SISTEMAS DE COORDENADAS CELESTES

SISTEMA	HORIZONTAIS	HORÁRIAS	URANOGRÁFICAS	ECLÍPTICAS
plano fundamental	horizonte	equador	equador	ecliptica
ABSCISSA	A	H	α	λ
origem	ponto sul	SMS	ponto vernal	ponto vernal
sentido	retrógrado	retrógrado	direto	direto
variação	0° a 360° 0° a +/- 180°	0h a 24 h 0h a +/- 12h	0° a 360°	0° a 360°
ORDENADA	h (Z)	δ (p)	δ (p)	β
variação	0° a +/- 90° 0° a 180°	0° a +/- 90° 0° a 180°	0° a +/- 90° 0° a 180°	0° a +/- 90°
	local	misto	não-local	não-local
EIXOS				
3	vertical $\oplus \rightarrow Z$	eixo rotação $\oplus \rightarrow PN$	eixo rotação $\oplus \rightarrow PN$	eixo da eclíptica $\oplus \rightarrow PN$
1	meridiana $\oplus \rightarrow HS$	linha E-W $\oplus \rightarrow W$	linha equinocial $\oplus \rightarrow \gamma$	linha equinocial $\oplus \rightarrow \gamma$
2	levógiro	levógiro	dextrógiro	dextrógiro