

*Astronomia de Posição*  
*2º semestre - 2022*

*Aula\_13 – 24/10/2021*

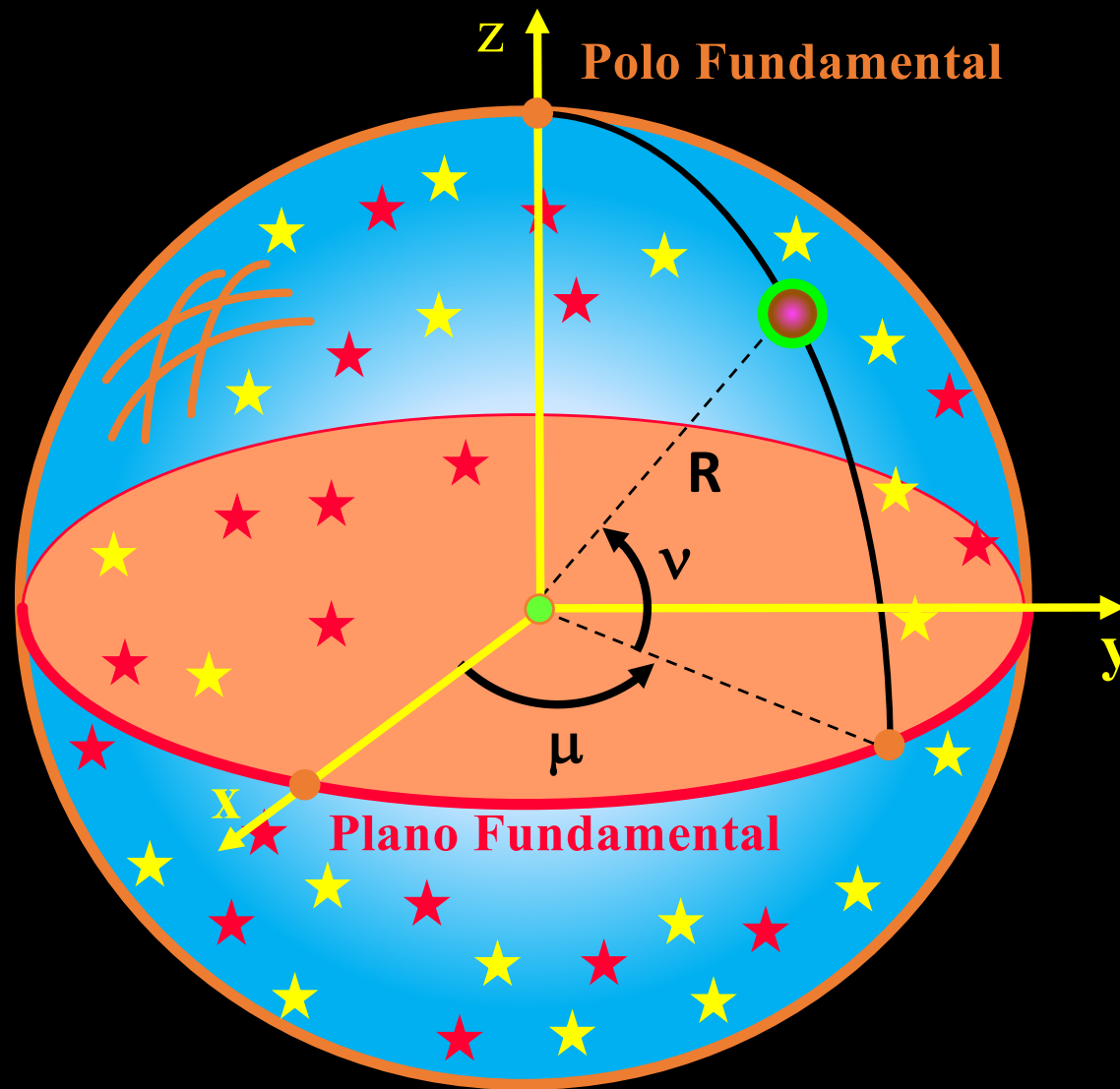
*Sistema de Referência*

*Ramachrisna Teixeira*

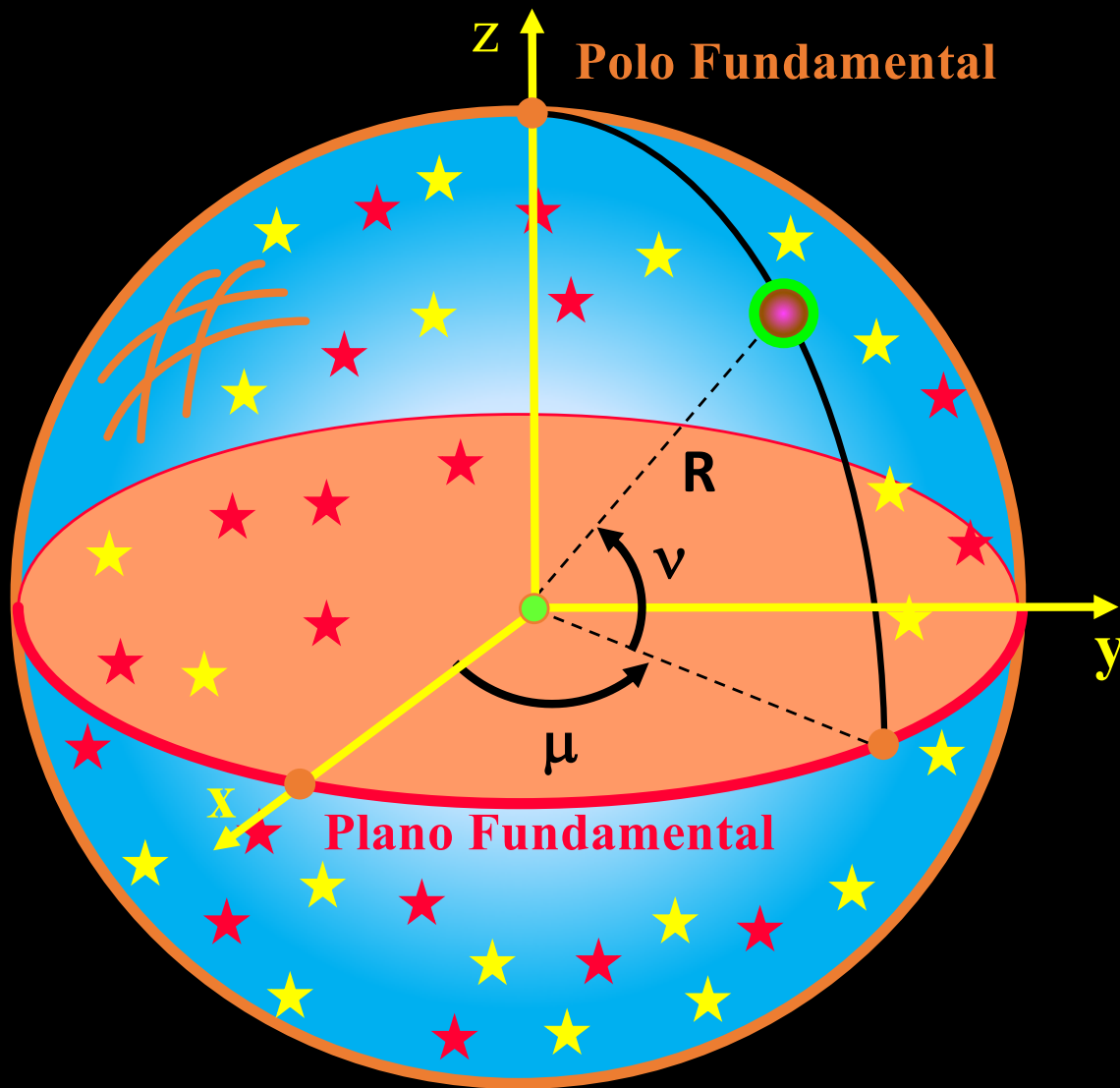
*IAG-USP*

*rama.teixeira@iag.usp.br*

# *Sistema de Referência Espacial*



# Sistema de Referência Espacial



$$x = R \cdot \cos(\mu) \cdot \cos(\nu)$$

$$y = R \cdot \sin(\mu) \cdot \cos(\nu)$$

$$z = R \cdot \sin(\nu)$$

*Esfera Celeste:  $R = 1$*

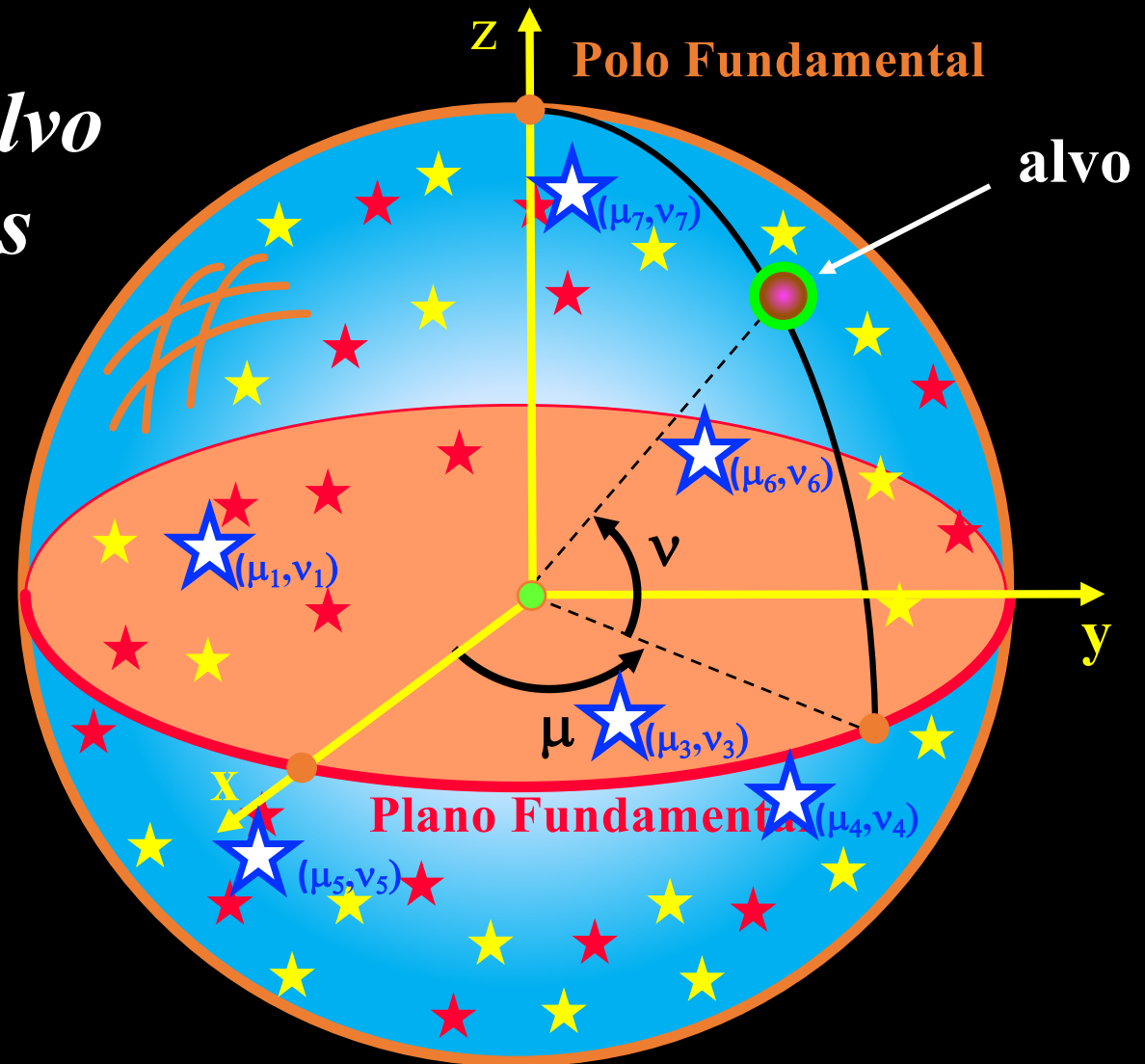


*posição = direção*

# Sistema de Referência Espacial

## Materialização

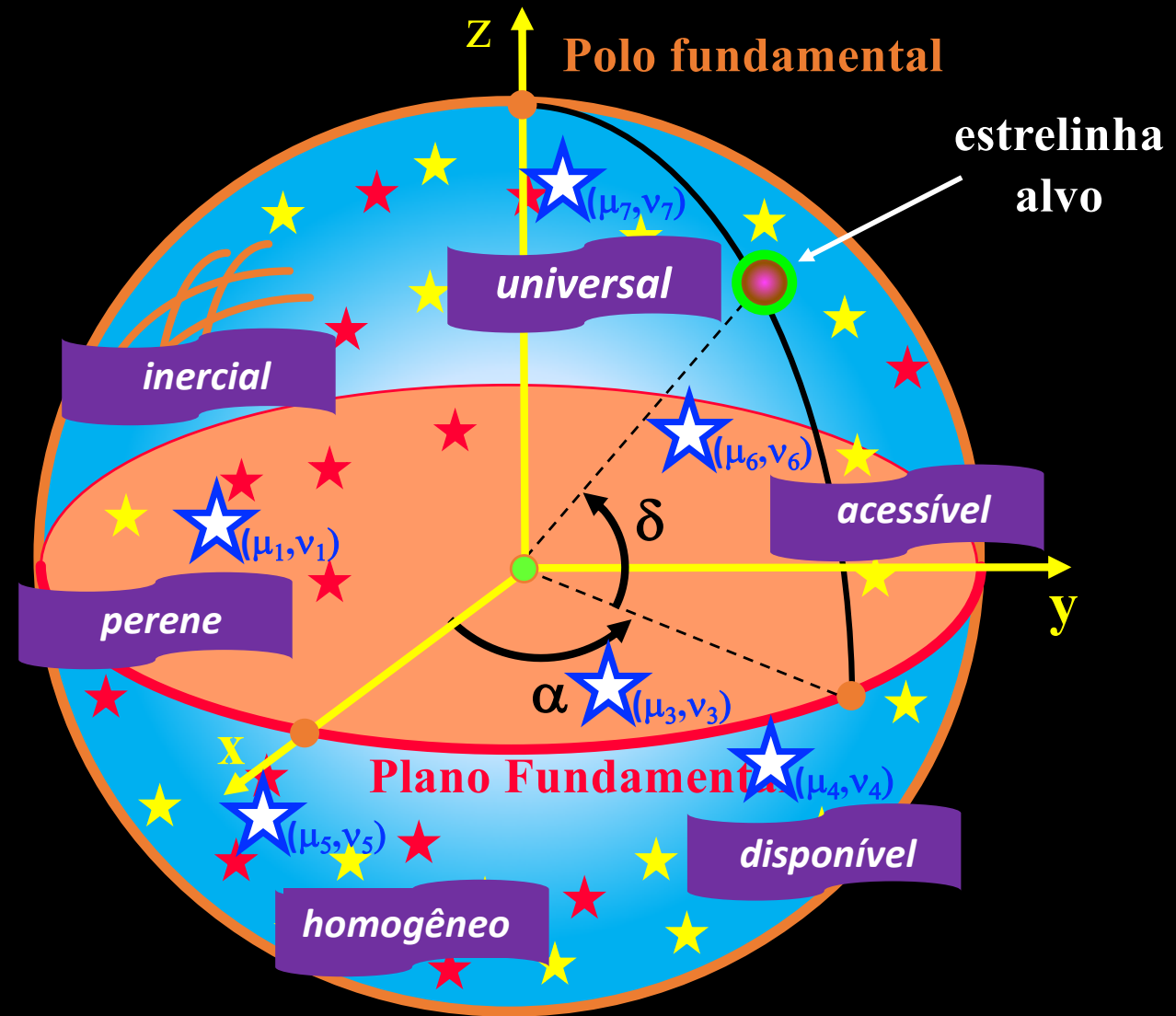
*coordenadas  $(\mu, \nu)$  do alvo  
medidas em relação às  
estrelas de referência  
(pontos fiduciais)*





# Sistema de Referência Espacial

## Requisitos básicos



# Sistema de Referência Espacial

**Escolha:**

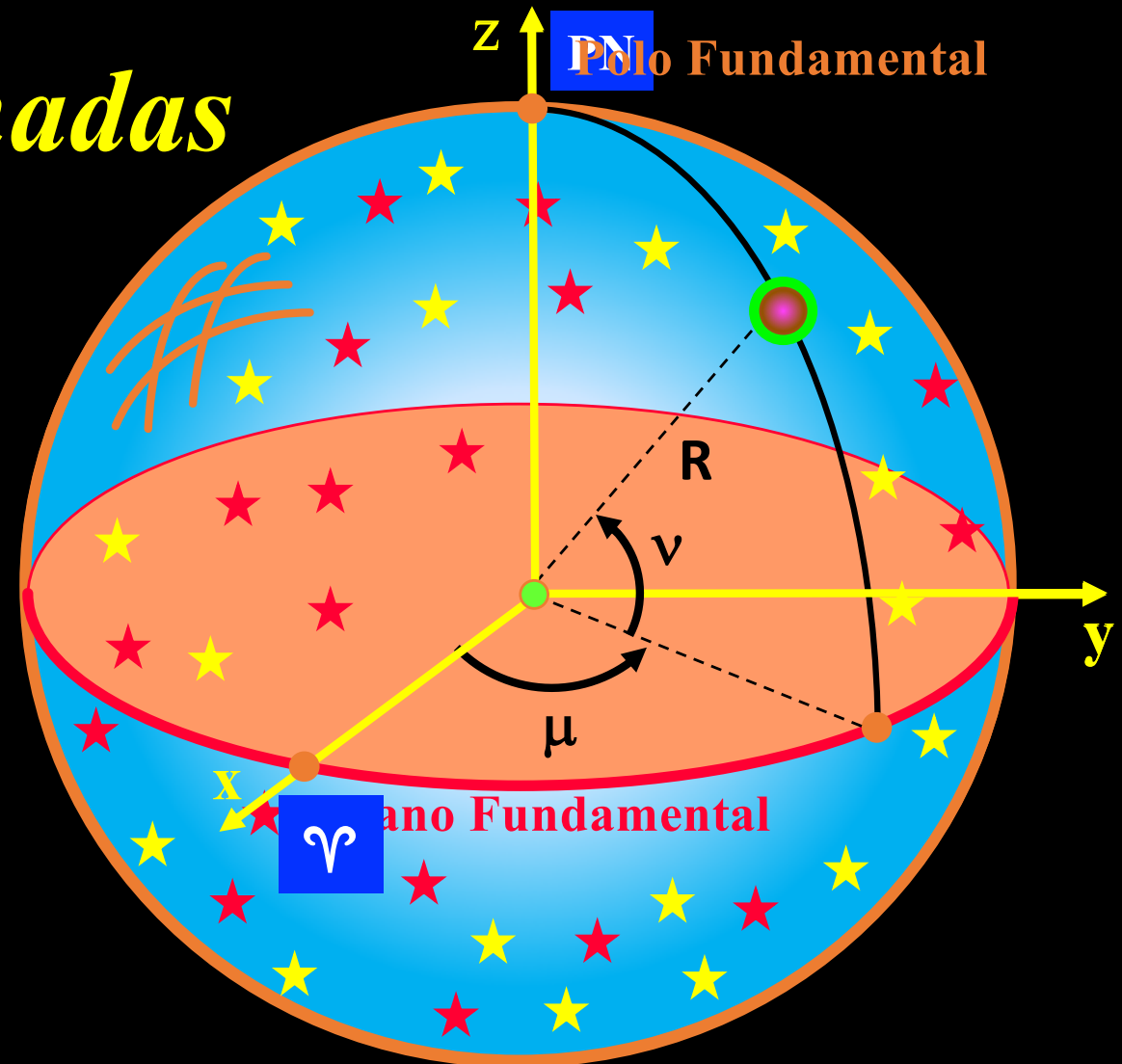
**sistema de coordenadas**

- *Sistema horizontal*

- *Sistema equatorial equinocial*

- *Sistema geocêntrico* **Até 1998**

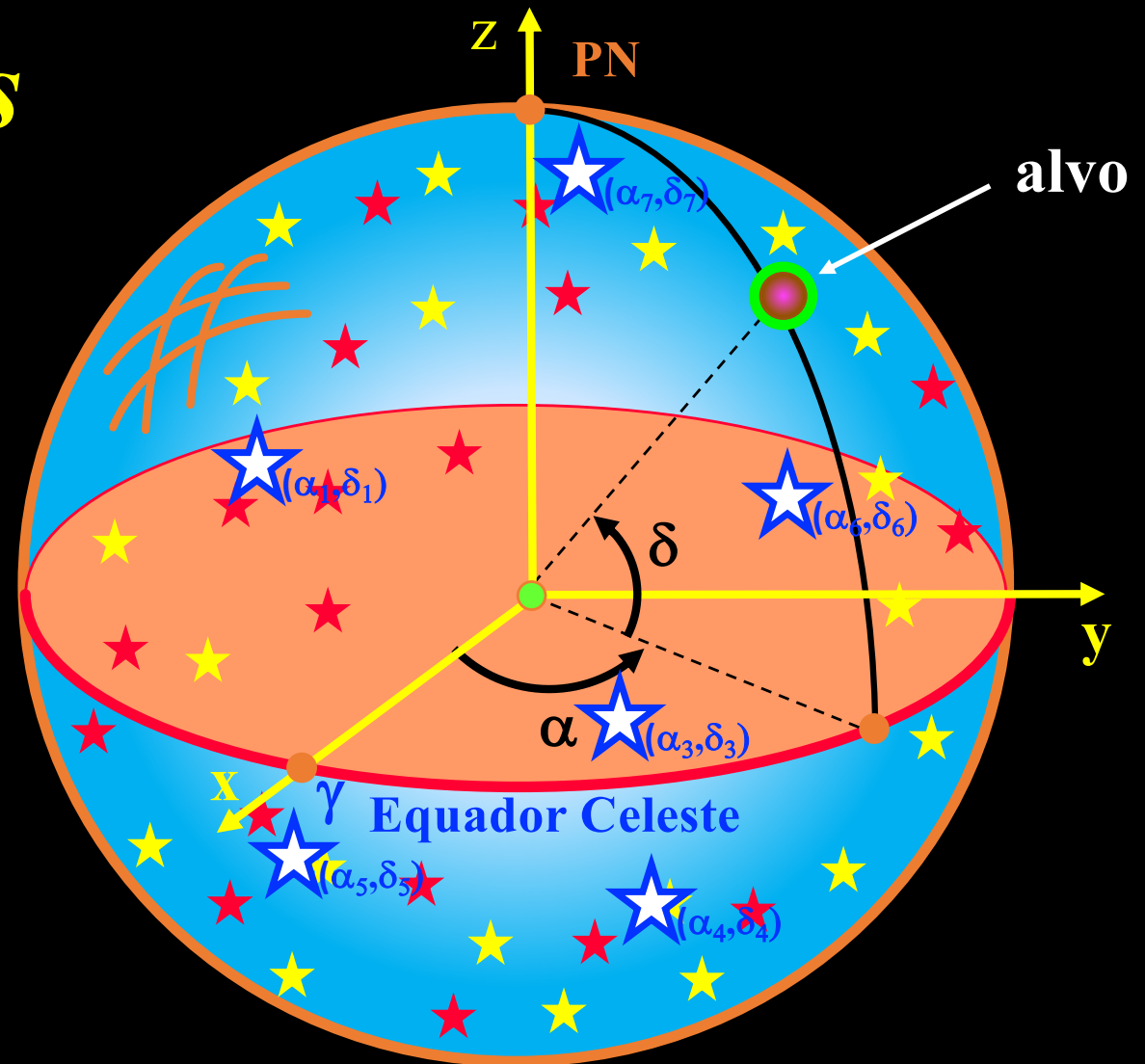
- *Sistema galáctico*



# Sistema de Referência Espacial

*Escolha:  
pontos fiduciais*

- *Corpos do SS*
- *Estrelas*
- *“Quasares”*

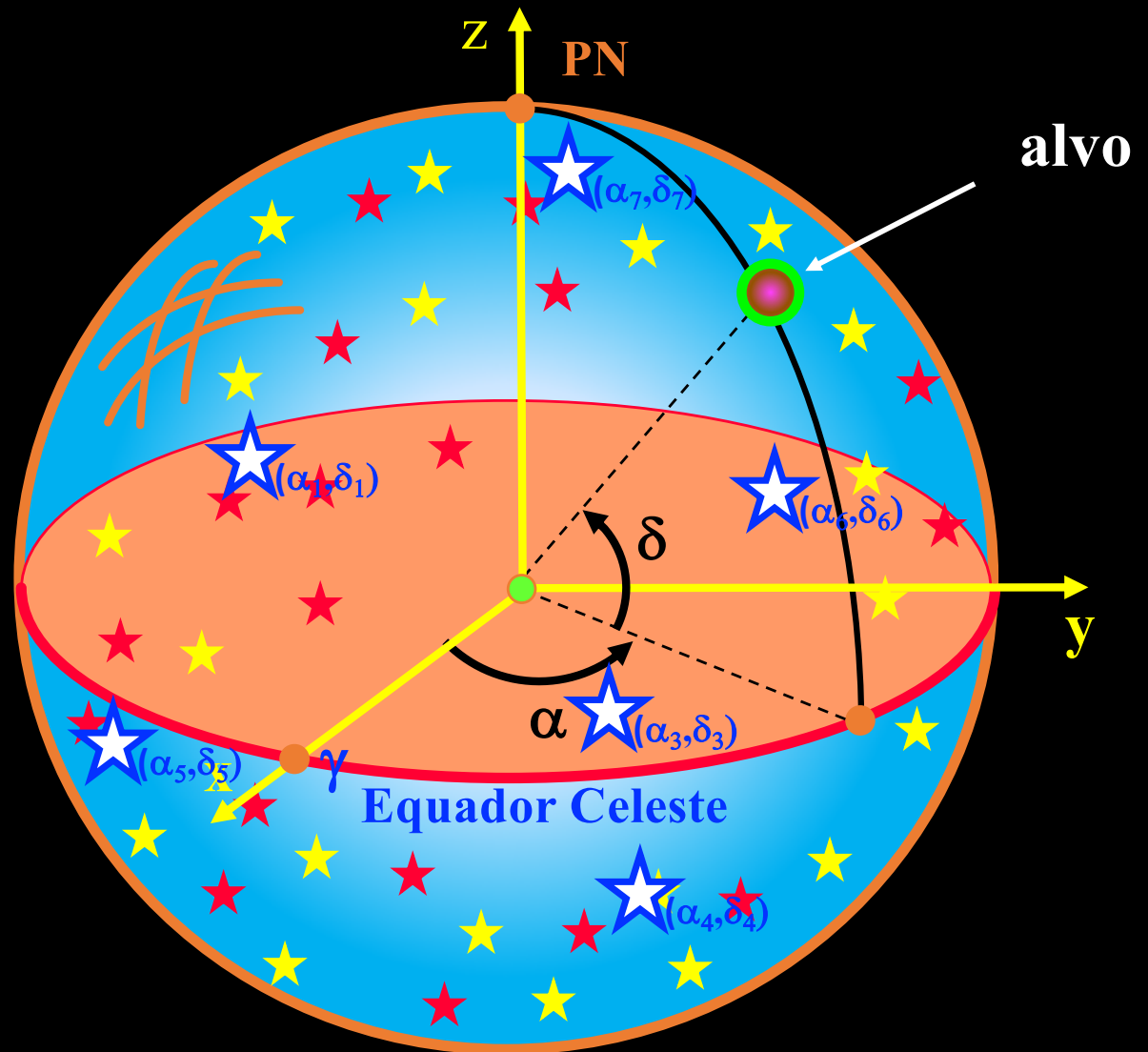


# Sistema de Referência Espacial

*materialização  
estelar*



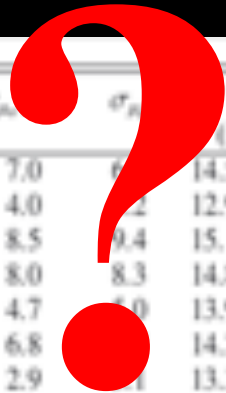
*coordenadas  $(\alpha, \delta)$  do alvo  
medidas em relação àquelas  
das estrelas de referência*



# Sistema de Referência Espacial

## Catálogo Astrométrico

Ident	Alpha (hms)	Delta ( <sup>o</sup> ' '')	$\sigma_\alpha$ (mas)	$\sigma_\delta$ (mas)	$\mu_\alpha \cos(\delta)$ (mas/yr)	$\mu_\delta$ (mas/yr)	$\sigma_{\mu_\alpha}$ (mas/yr)	$\sigma_{\mu_\delta}$ (mas/yr)	$\sigma_V$ (mag)	$t_0$ (yr)	$t_1$ (yr)	$J$ (mag)	$H$ (mag)	$K$ (mag)	$T_{eff}$ (K)	2MASS	
BE 1	18 7 47.0166	-31 49 03.953	30.4	25.9	0.7	0.9	7.0	6.2	14.5	0.2	2005.5	2006.1	9.9	9.0	8.6	3210	18074701-3149039
BE 2	18 7 47.3399	-31 47 56.530	19.1	14.7	-7.9	-3.5	4.0	3.2	12.9	0.1	2005.0	2005.7	11.4	11.1	10.9	5142	18074733-3147565
BE 3	18 7 48.0310	-31 51 22.742	40.3	40.7	-12.8	9.7	8.5	9.4	15.1	0.2	2004.6	2005.7	12.0	11.4	11.2	3889	18074803-3151227
BE 4	18 7 48.1652	-31 50 07.639	35.8	35.2	-9.2	14.2	8.0	8.3	14.8	0.2	2004.9	2005.6	13.0	12.6	12.5	5667	18074815-3150076
BE 5	18 7 48.2868	-31 47 08.429	21.6	21.8	3.5	-13.3	4.7	5.0	13.9	0.1	2005.2	2005.8	11.3	10.7	10.5	4610	18074828-3147085
BE 6	18 7 48.3413	-31 51 06.093	30.9	28.8	16.5	2.2	6.8	5.0	14.2	0.1	2005.1	2005.8	10.3	9.3	9.0	3398	18074835-3151062
BE 7	18 7 48.6490	-31 43 12.708	13.8	14.0	-1.0	3.2	2.9	3.1	13.3	0.1	2004.9	2005.6	11.3	10.7	10.6	4888	18074865-3143127
BE 8	18 7 49.5413	-31 4															18074953-3142480
BE 9	18 7 49.5598	-31 4															18074954-3145408
BE 10	18 7 49.6815	-31 4															18074968-3149411
BE 11	18 7 49.8491	-31 4															18074984-3142182
BE 12	18 7 50.3163	-31 4															18075031-3148057
BE 13	18 7 50.4428	-31 4															18075044-3151088
BE 14	18 7 50.7754	-31 4															18075077-3146320
BE 15	18 7 51.0238	-31 4															18075101-3141507
BE 16	18 7 51.2692	-31 4															18075126-3149128
BE 17	18 7 51.3847	-31 4															18075137-3151520
BE 18	18 7 51.5444	-31 4															18075154-3151041
BE 19	18 7 51.7029	-31 4															18075168-3150001



*Como podemos ter as coordenadas de estrelas de referência em relação a um sistema de referência que elas irão definir e materializar*

# Ascensão reta absoluta

Tempo Sideral

$$TS = H_{\gamma}$$

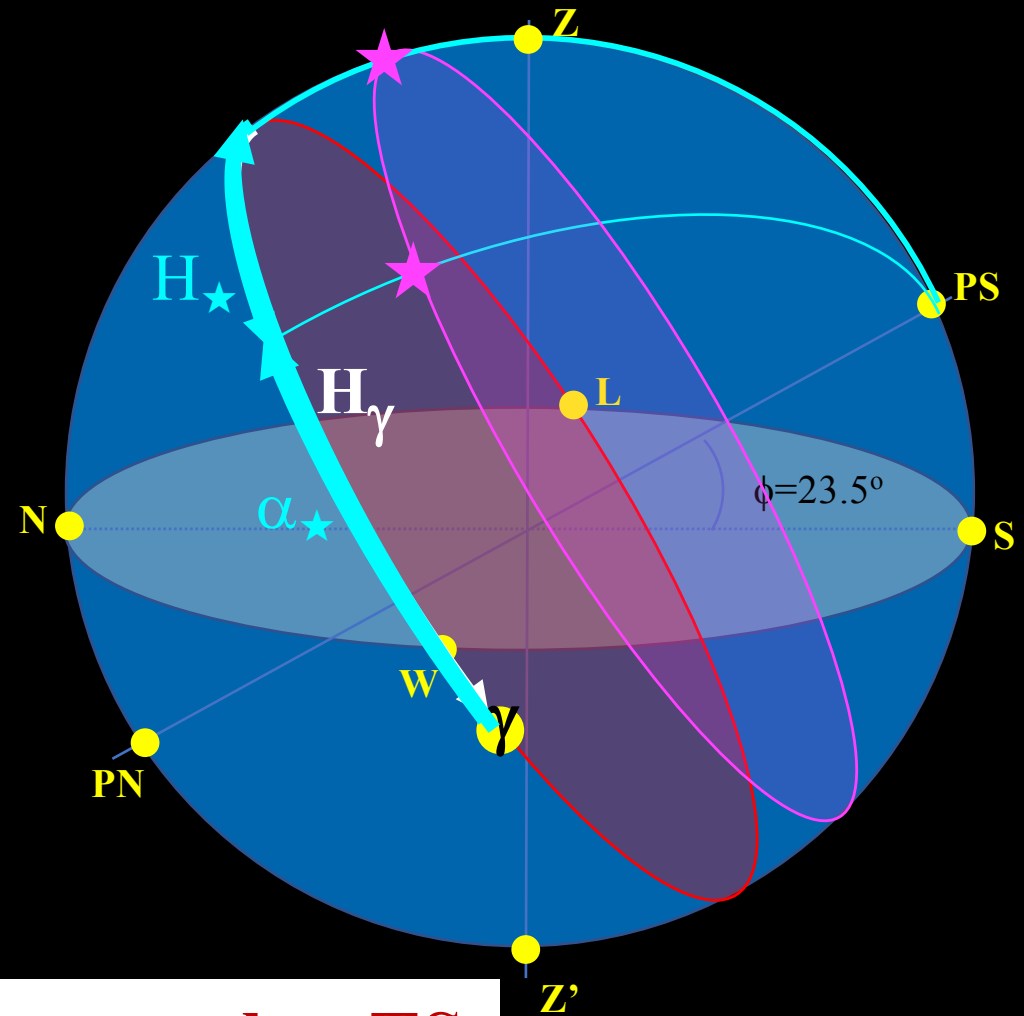
$$TS = H_{\star} + \alpha_{\star}$$

culminação superior



$$H_{\star} = 0 \Rightarrow \alpha_{\star} = TS$$

observações do Sol  $\Rightarrow$  equinócio vernal  $\Rightarrow$  TS





# Declinação absoluta

Culminação Superior

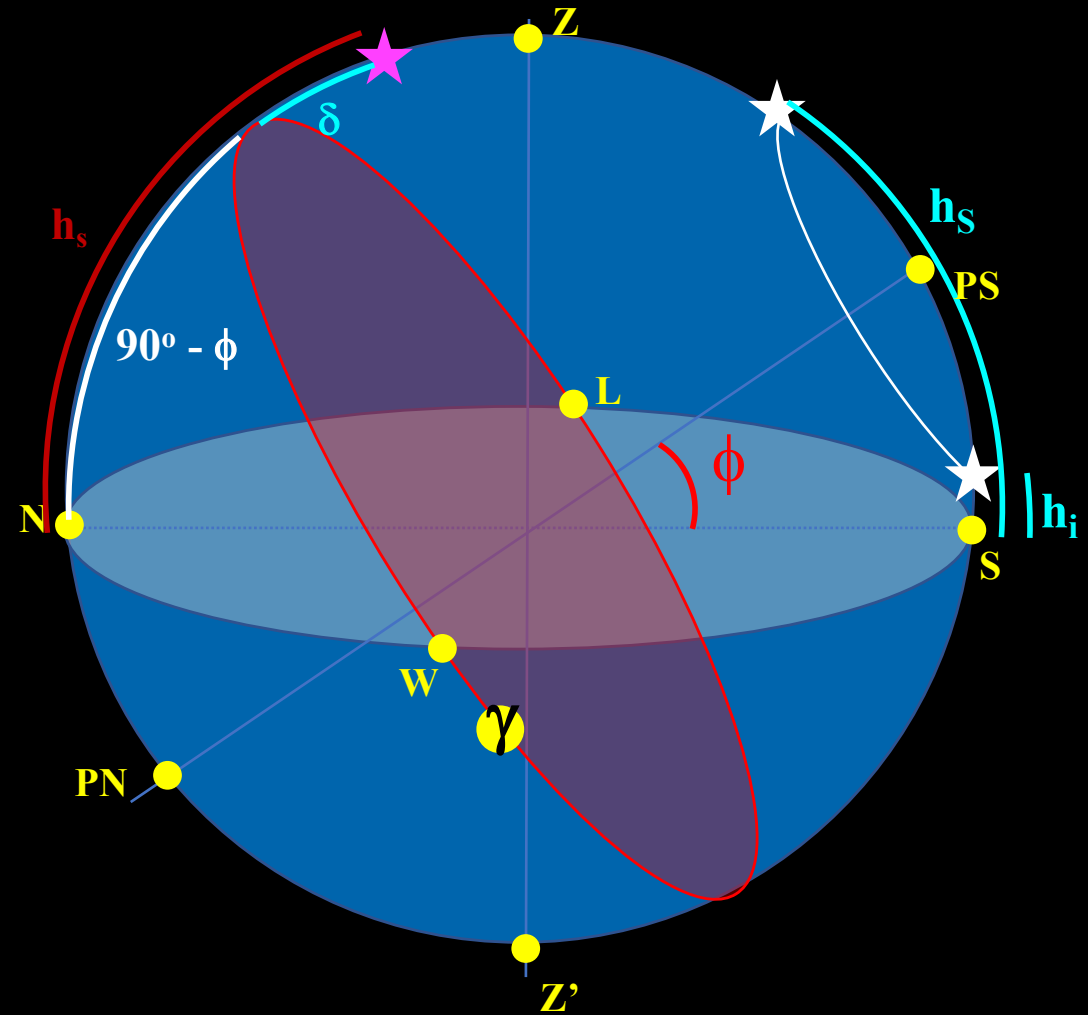


$$\delta_{\star} = h_s + \phi - 90^{\circ}$$

circumpolar



$$\phi = (h_s + h_i)/2 \Rightarrow PS/PN$$

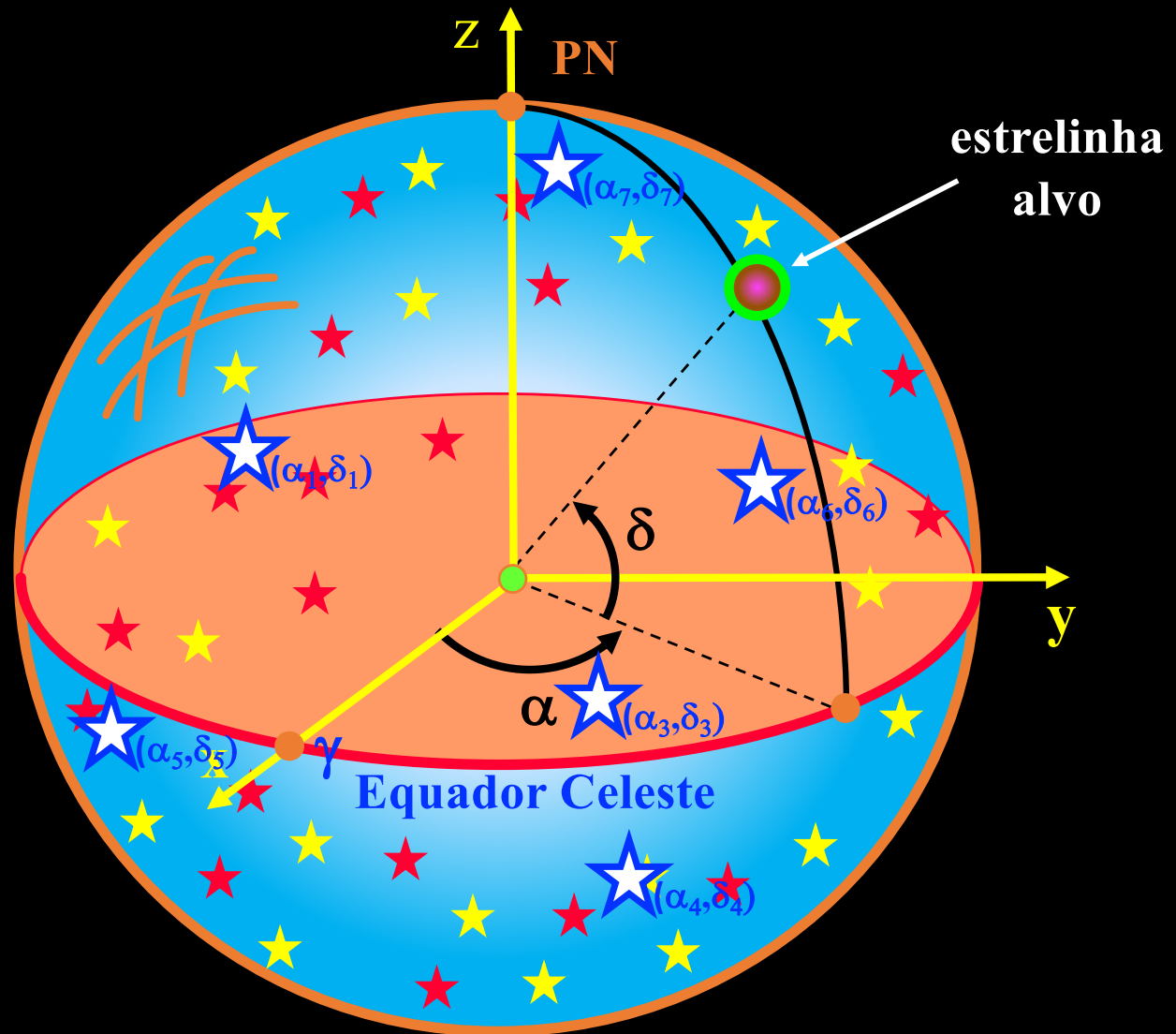


# Sistema de Referência Espacial

*materialização  
estelar*



*coordenadas  $(\alpha, \delta)$  do alvo  
medidas em relação àquelas  
das estrelas de referência*



# Posições relativas

Astronomia de  
grande campo  
(culminação superior)



$$TS = \alpha_{\text{Ref}}$$

$$\phi = \delta_{\text{Ref}} - h_s + 90^\circ$$

Astronomia de  
pequeno campo



$$\alpha_{\star} = \alpha_{\text{Ref}} + \Delta\alpha$$

$$\delta_{\star} = \delta_{\text{Ref}} + \Delta\delta$$

posição  $\alpha$  e  $\delta = f(a, b, c, \dots, x, y)$



*Círculo Meridiano*  
*Observatório Abrahão de Moraes - IAG*  
*posições absolutas e relativas*





# Sistema de Referência Espacial

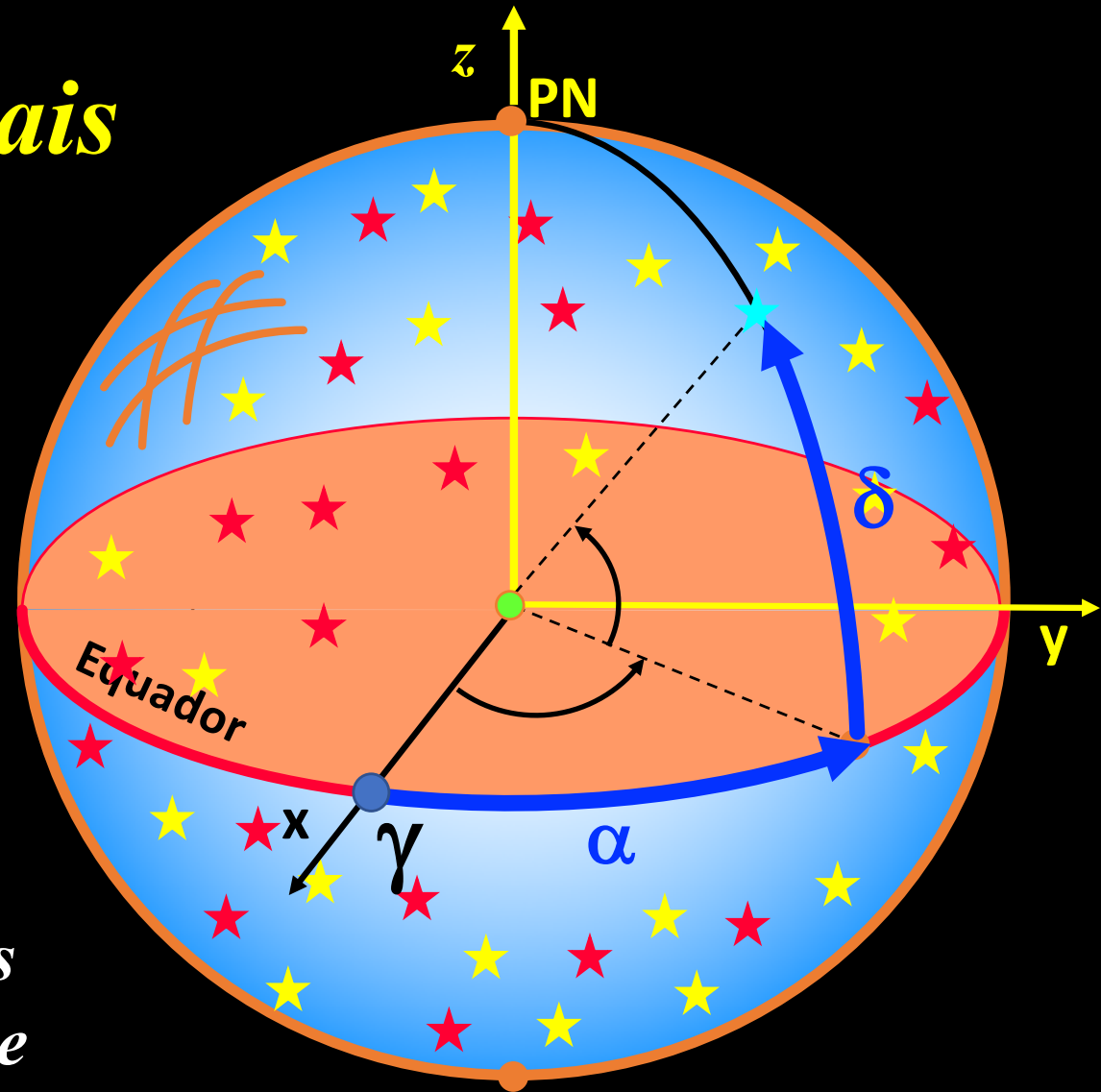
*catálogos fundamentais  
estelares*

*Tabulae Regiomontanae  
Bessel 1830*

*(observação: Bradley e Maskelyne)*



*36 estrelas zodiacais brilhantes  
movimentos próprios estelares e  
movimentos dos planos de referência*





# Sistema de Referência Espacial

## catálogos fundamentais estelares

*Fundamental Catalog*

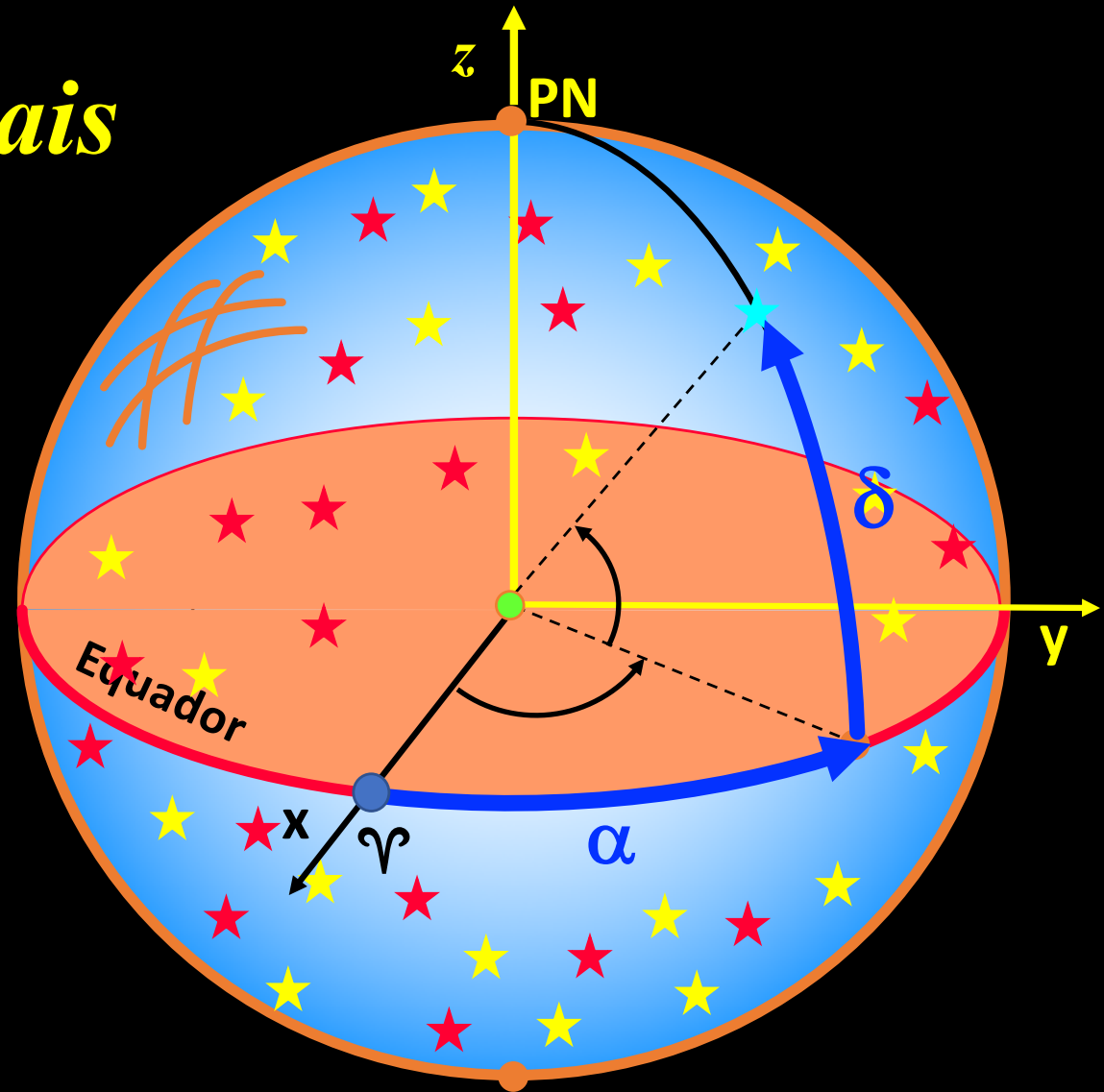
*Auwers 1879*

*(observação: Bradley e de Pulkovo)*



*539 estrelas  $\delta > -10^\circ$   
complemento com 83  
estrelas do HS.*

*movimentos dos planos - Struve*



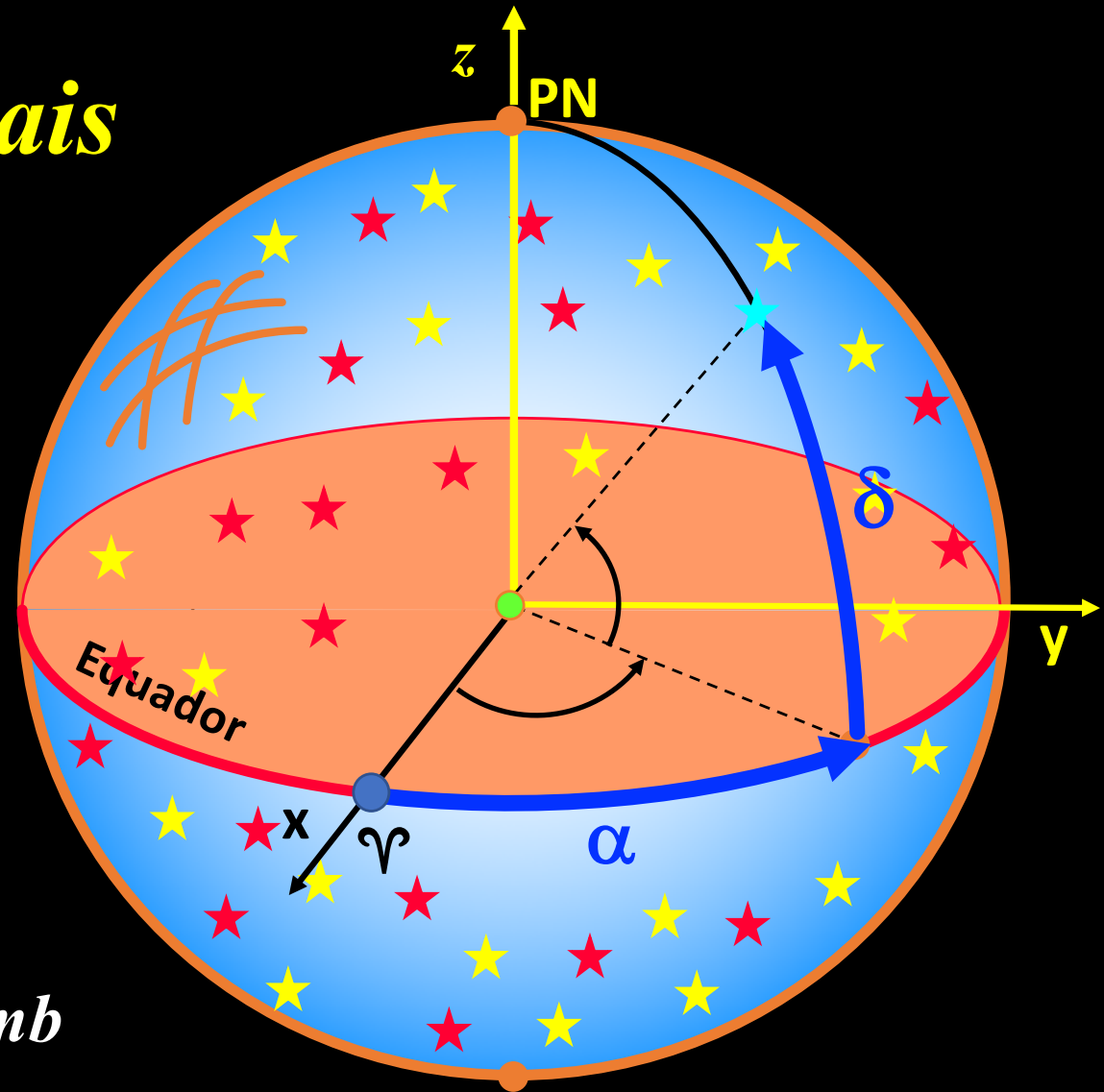
# Sistema de Referência Espacial

*catálogos fundamentais  
estelares*

*Fundamental Catalog  
Peters 1907*



*925 estrelas - melhoramento nas  
posições e movimentos próprios  
movimentos dos planos - Newcomb*



# Sistema de Referência Espacial

*catálogos fundamentais  
estelares*

*FK3*

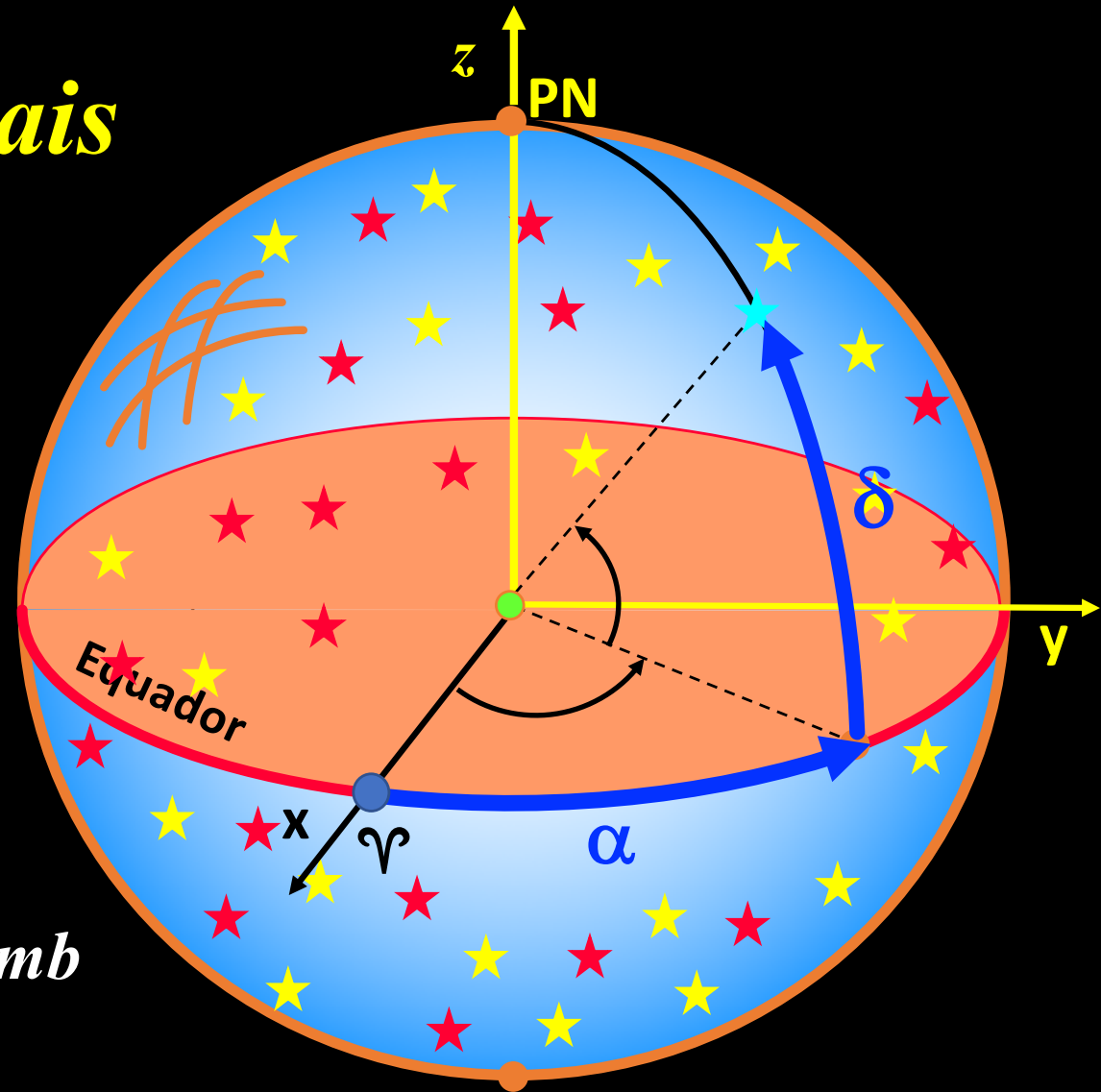
*Kopff 1937-1938*



*1535 estrelas – 873 anteriores  
melhoradas e 662 novas*

*movimentos dos planos - Newcomb*

*1938 IAU  $\Rightarrow$  FK3 primeiro Sistema de  
Referência Internacional*



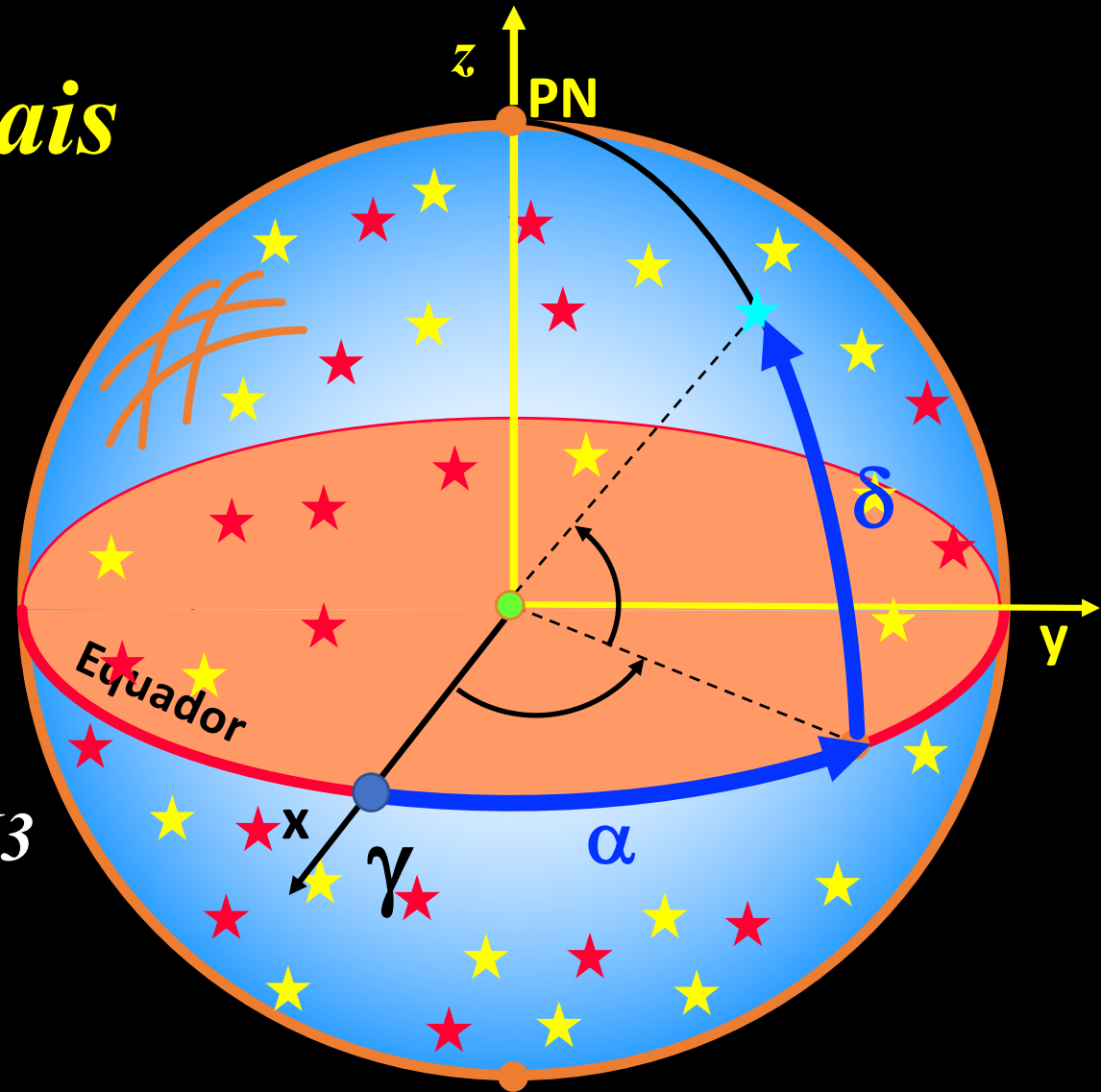
# Sistema de Referência Espacial

*catálogos fundamentais  
estelares*

*FK4  
Fricke1963*



*1535 estrelas - refinamento do FK3  
complemento com 1987 estrelas  
movimentos dos planos -  
Newcomb e Woolard*



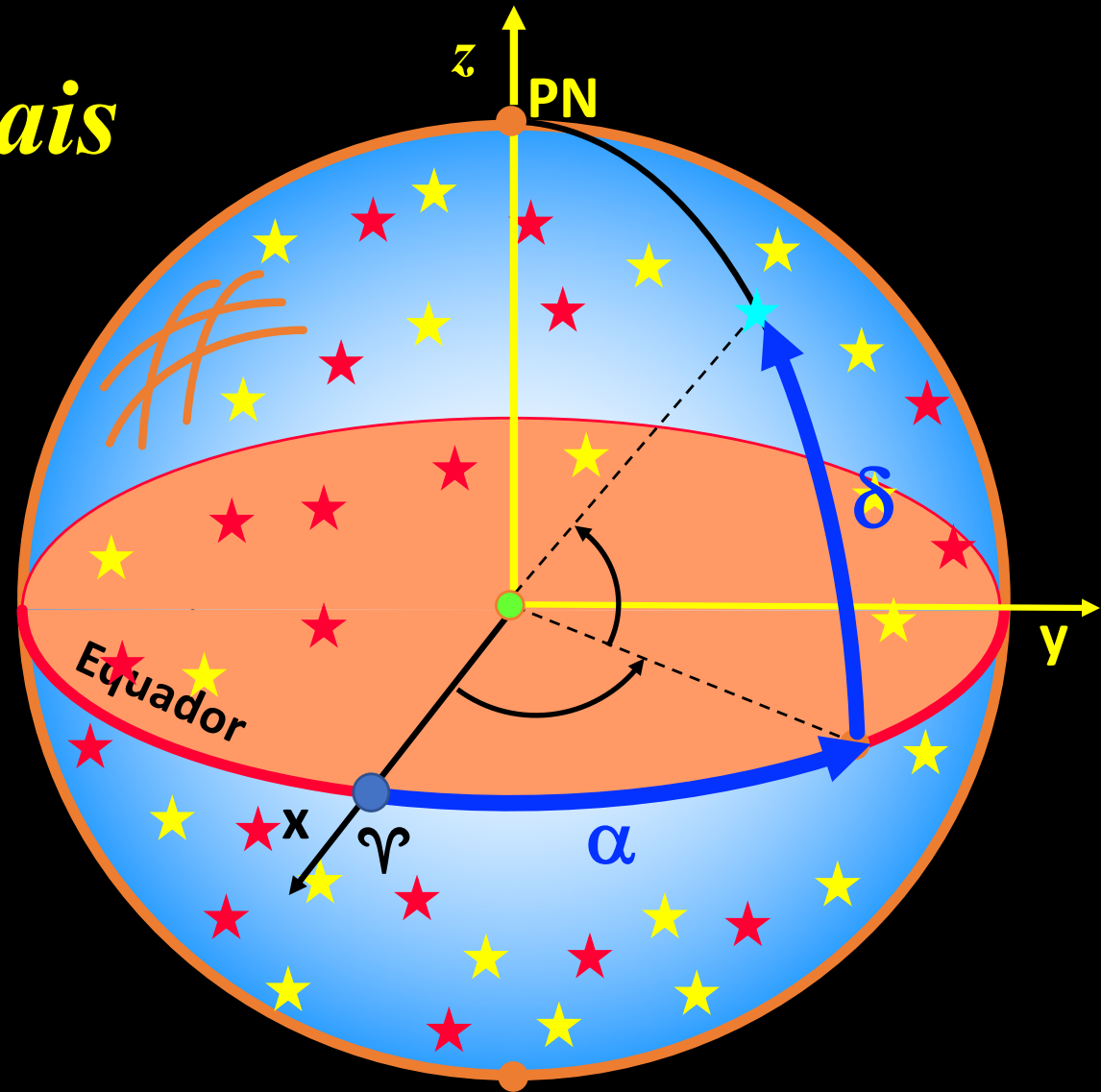
# Sistema de Referência Espacial

*catálogos fundamentais  
estelares*

*FK5  
Fricke1988*



*1535 estrelas ( $V \sim 7.5$ ) e  
complemento com 3177 ( $V \sim 9.5$ )  
movimentos dos planos -  
Lieske e Seilemann*

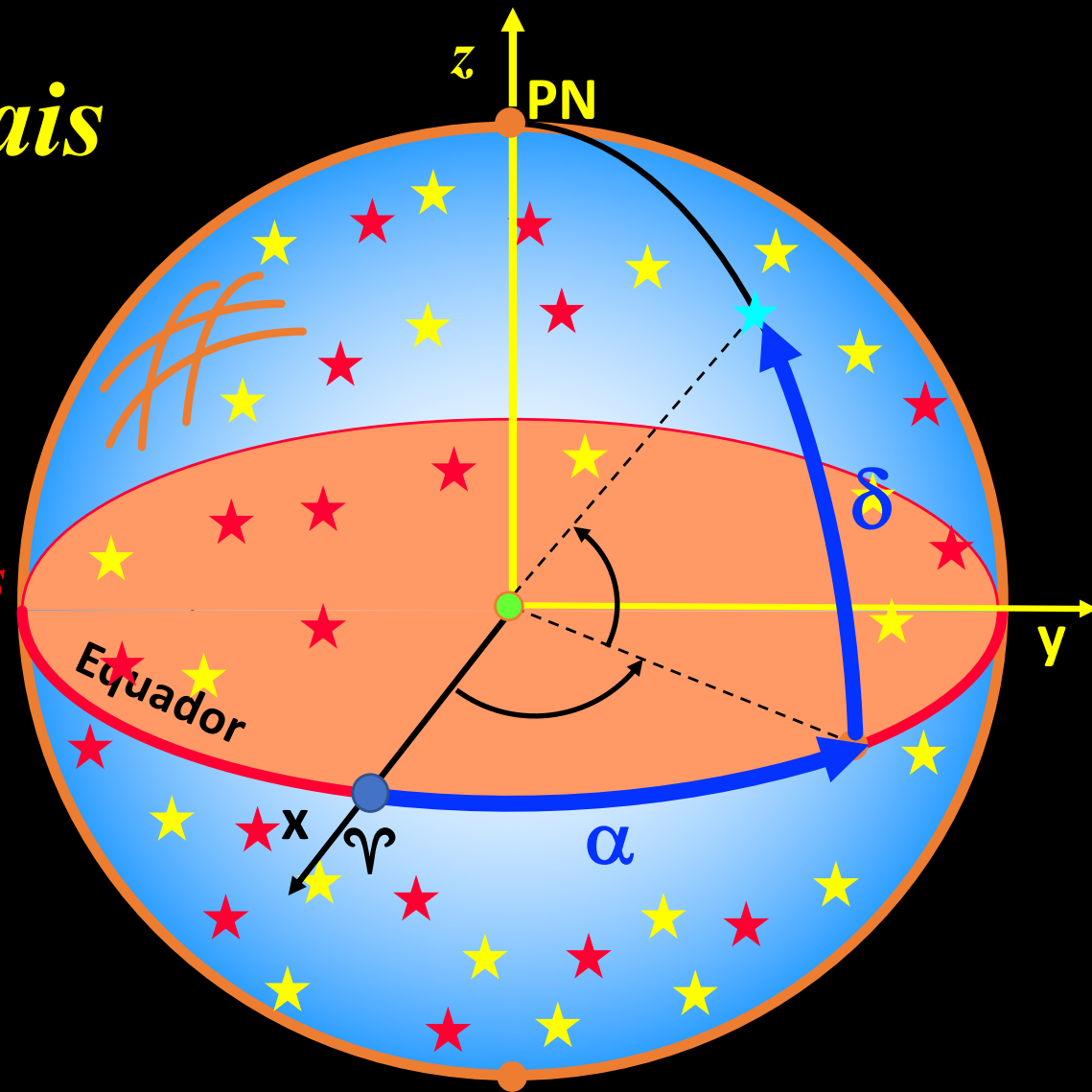


# Sistema de Referência Espacial

## catálogos fundamentais estelares

### Dificuldades:

- *Precisão das posições aboslutas*
- *Densidade*
- *Paralaxes desconhecidas*
- *Estrelas muito brilhantes*
- *Movimentos dos planos mal conhecidos*





# International Celestial Reference Frame (ICRF3)

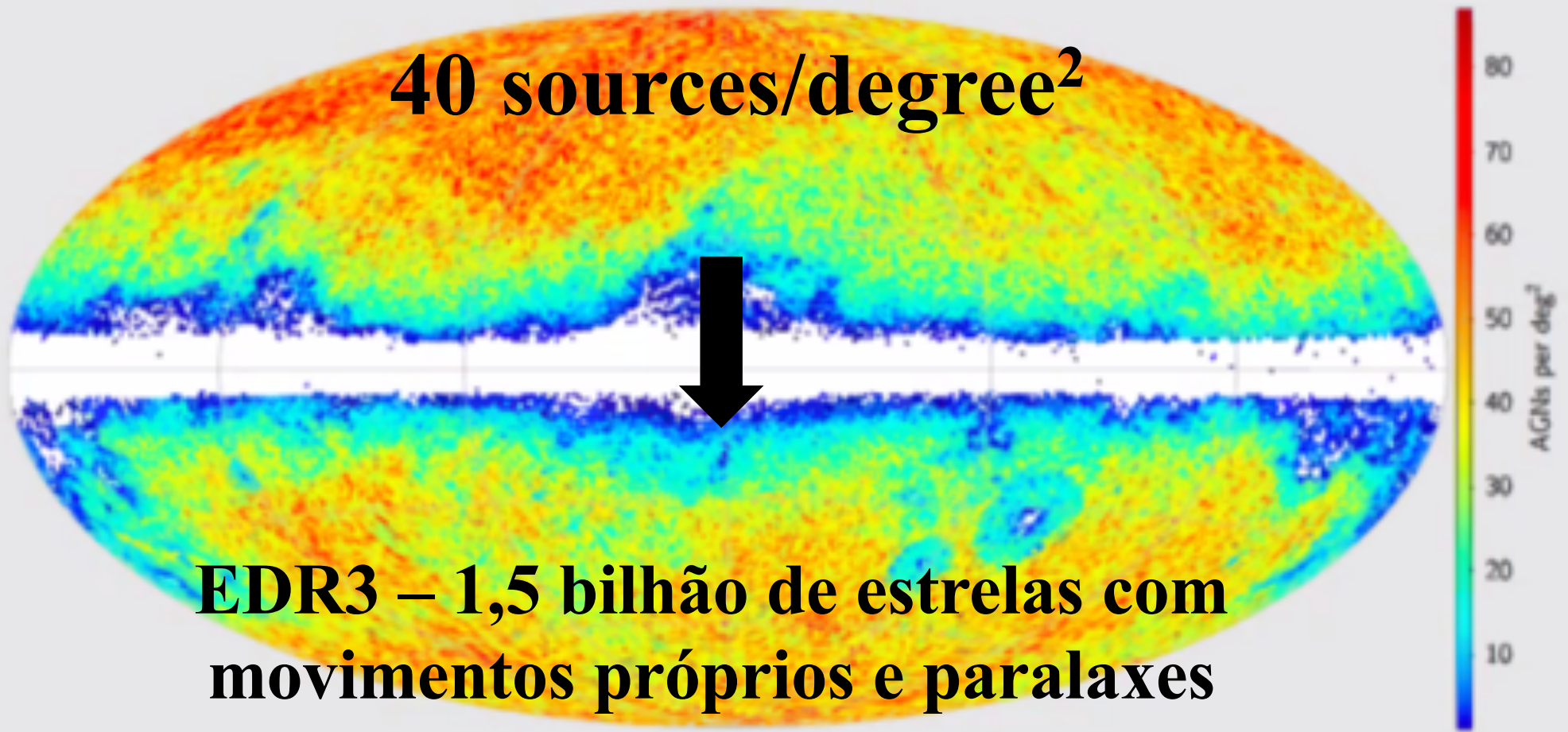
300 fontes definidoras



# Gaia Celestial Reference Frame

$\pm 1,6$  milhão de “quasares”

40 sources/degree<sup>2</sup>



# Sistema de Referência Espacial

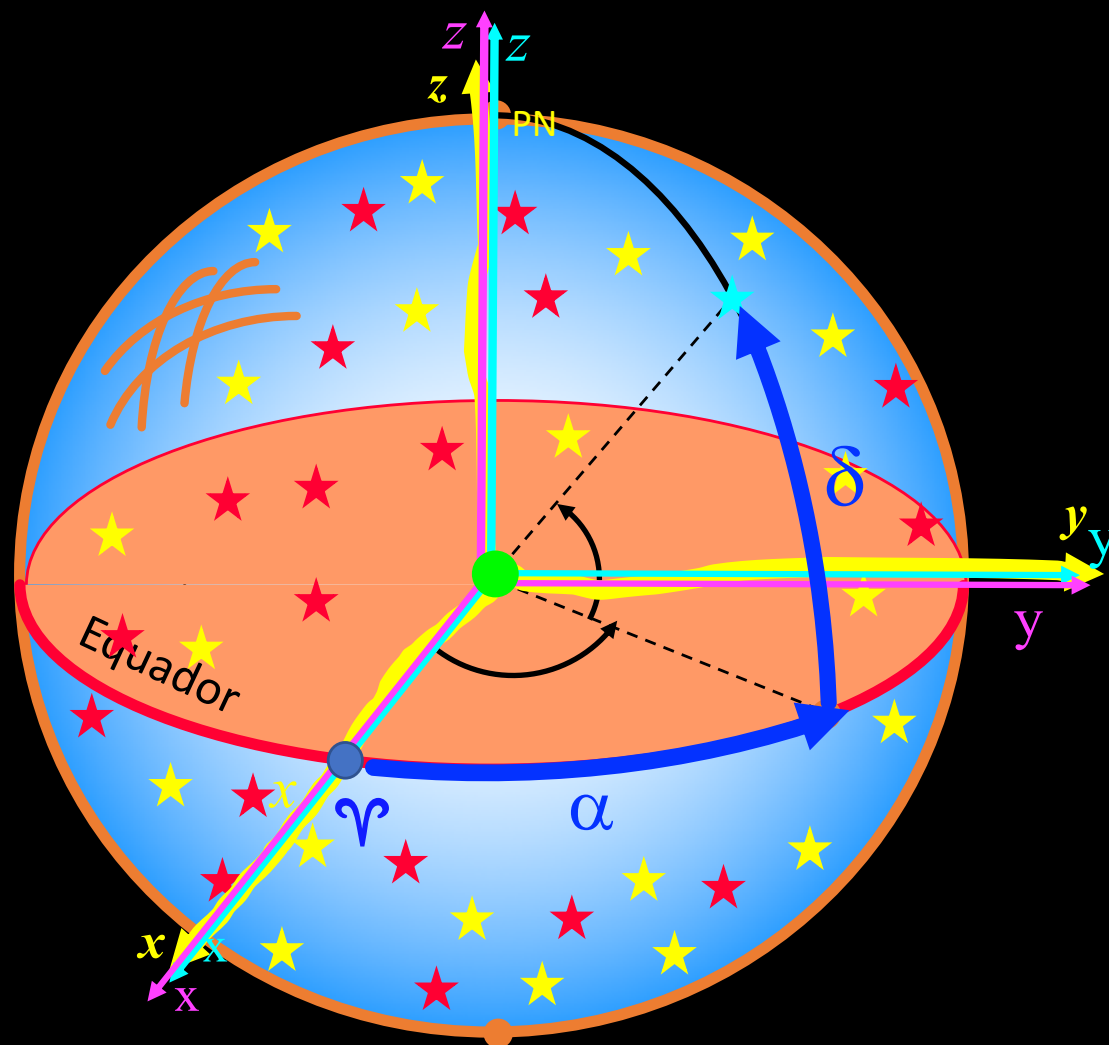
*Passado FK5:*

$t < 1998$  – **FK5**

*Presente ICRS:*

$t > 1998$  – **ICRF**

$t > 2016$  – **GCRF**



F I M