



# *Observando o céu e Construindo o Conhecimento*

**Minicurso ICTP-SAIFR para  
Estudantes do Ensino Médio  
IFT-UNESP – 13/04/24**

*Ramachrisna Teixeira  
IAG-USP*

*[rama.teixeira@iag.usp.br](mailto:rama.teixeira@iag.usp.br)*

**ICPT - International Centre for Theoretical Physics  
SAIFR - South American Institute for Fundamental Research**

# observação



*medidas*

Astrometria



*intensidade*

*posição*

# base do conhecimento

# Posição



$\theta$



REFERÊNCIA



Quão longe...???

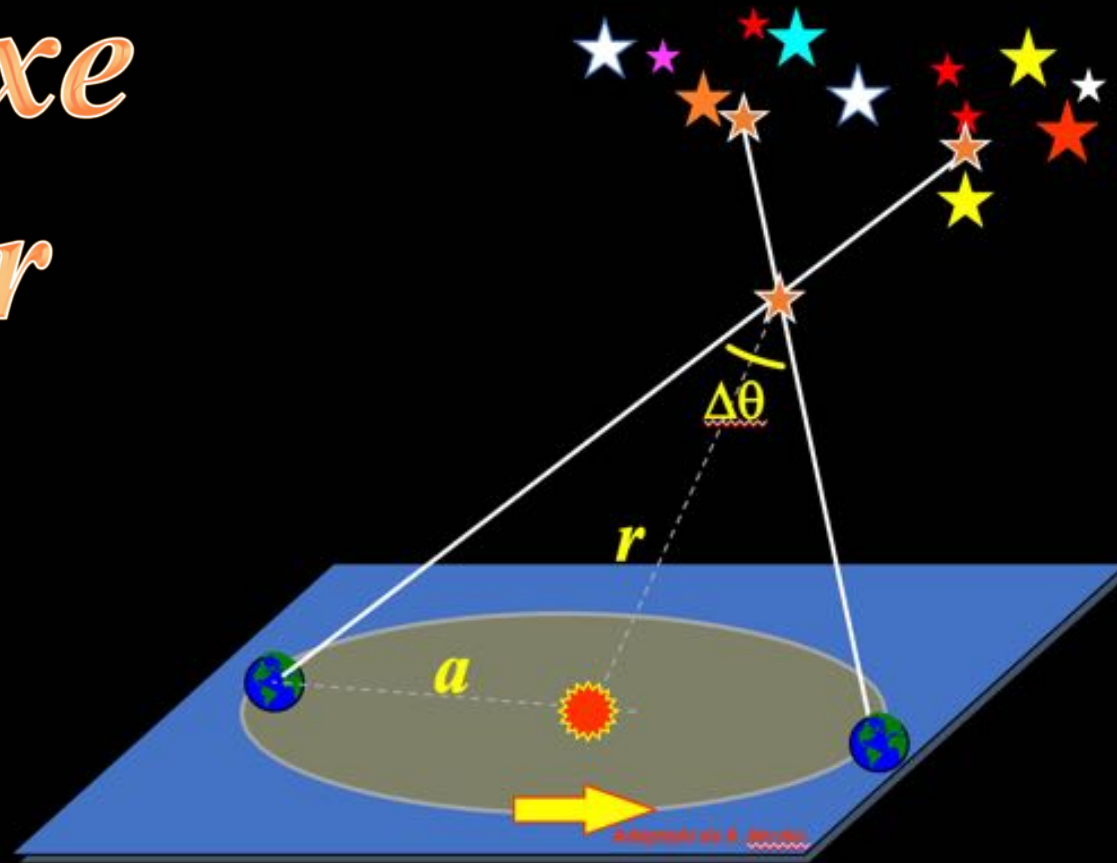
*distância*  
*grandeza mais*  
*importante da Astronomia*



*dimensões, estruturas,*  
*cinemática, dinâmica,*  
*massa, idade,*  
*matéria escura, etc.*



# *Paralaxe estelar*



- *Primeiro passo na determinação de distâncias*
- *Calibrador das demais estratégias*
- *Medidas mais diretas e precisas*

# *Interesse e Relevância*

*dependem  
do objeto e da precisão*



# *Astrometria*

## *Sistema Solar*

*Cinemática e dinâmica*

*Massas, formas e dimensões*

*Campos gravitacionais*

*Sistema de Referência*

*Movimentos da Terra*

# *Astrometria galáctica*

*Paralaxes*

*Distribuição espacial*

*Cinemática e dinâmica*

*Sistema de referência*

*Estrelas múltiplas, aglomerados*

*Massas, idades, etc.*

*Movimentos da Terra*



# *Astrometria extra-galáctica*

*Sistema de referência*

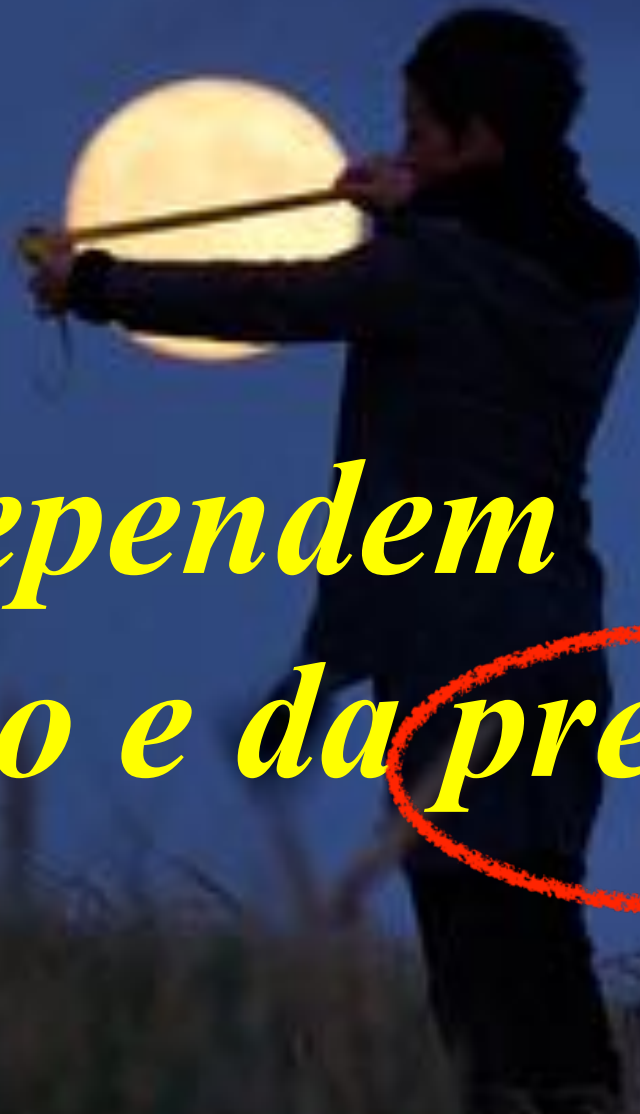
*Distribuição*

*Lentes gravitacionais*

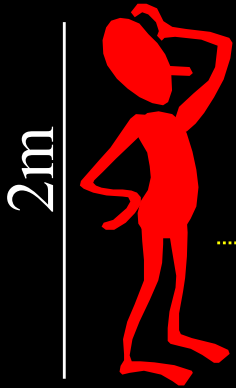
*Movimentos da Terra*

# *Interesse e Relevância*

*dependem  
do objeto e da precisão*



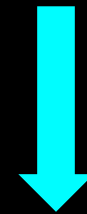
*$\pm 150$  a.C.  $\Rightarrow$  precisão  $\sim 1000''$*



400m



*Eratóstenes (276-196 a.C.)*



*diâmetro da Terra*

*sec. XVI* ⇒ *precisão ~ 100''*

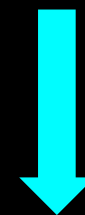
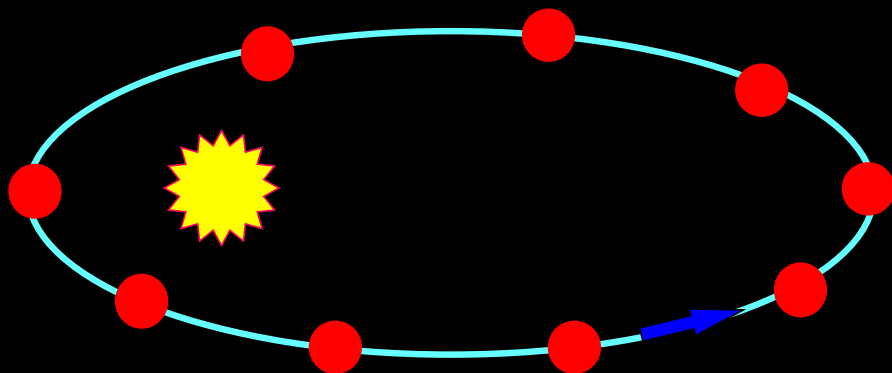


4km



*Tycho Brahe (1546-1601)*

*Kepler (1571-1630)*



*movimentos dos planetas*



*Newton - 1687*  
*(1643 – 1727)*



*Gravitação Universal*

**gravidade:**

**propriedade da matéria**

*sec. XVIII  $\Rightarrow$  precisão  $\sim 1''$*



400km



*Römer (1644-1710)  $\Rightarrow$  velocidade da luz*

*Halley (1656-1742)  $\Rightarrow$  movimento próprio estelar*

*Bradley (1692-1762)  $\Rightarrow$  aberração estelar*

*Herschel (1738-1822)  $\Rightarrow$  forma da Galáxia,*

*Urano, movimento do SS, sistemas binários*

*sec. XIX  $\Rightarrow$  precisão  $\sim 0.5''$*



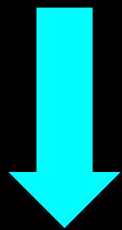
800km



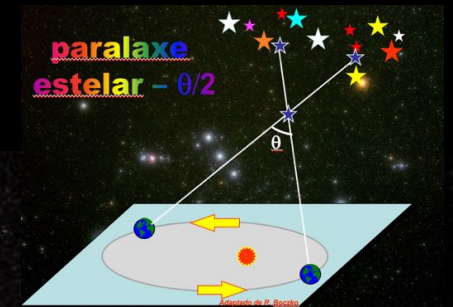
*Bessel (1784-1846)*

*Henderson (1798-1844)*

*e Struve (1793-1864)*



*primeiras paralaxes*

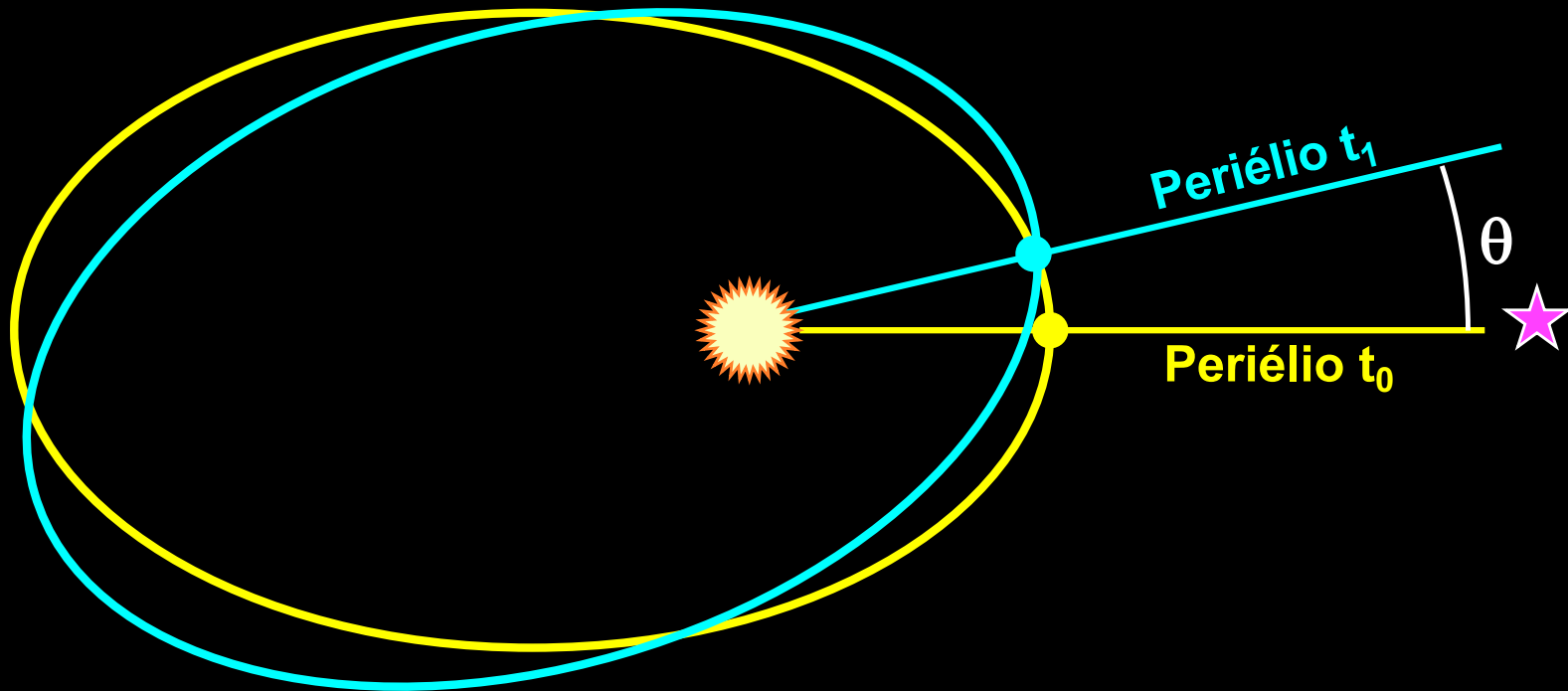


*início sec. XX  $\Rightarrow$  precision  $\sim 0.1''$*



*Deslocamento do Periélio de Mercúrio*

4.000km



*observação  $\Rightarrow \theta = 5,7''/\text{ano}$*

*Gravitação Universal  $\Rightarrow \theta = 5,3''/\text{ano}$*



*início sec. XX  $\Rightarrow$  precision  $\sim 0.1''$*



*Einstein - 1915*

*(1879 – 1955)*



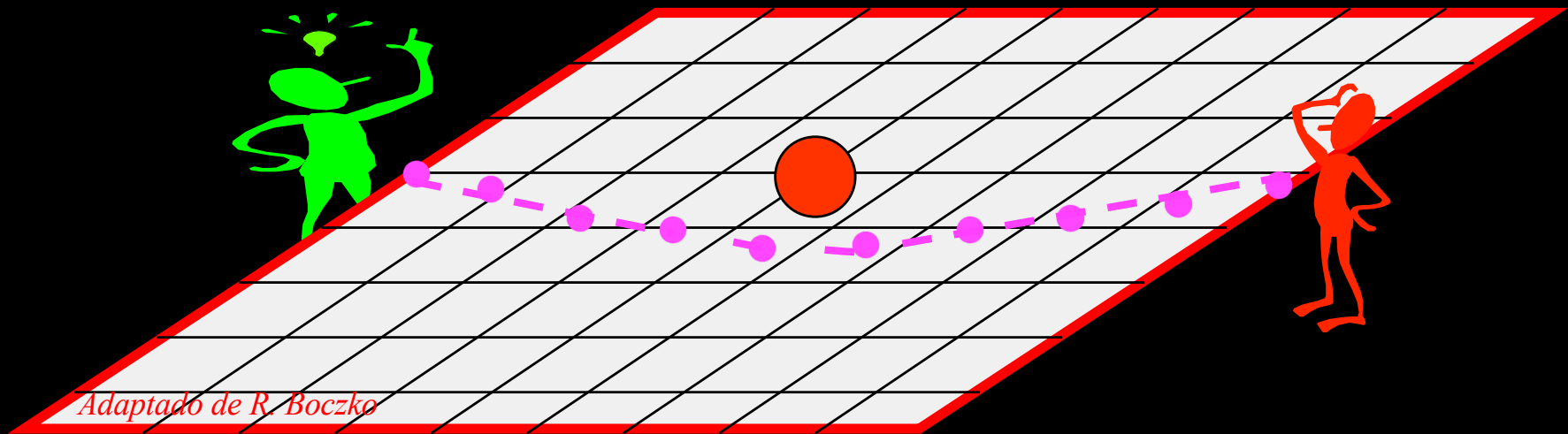
*Relatividade Geral*

**gravidade:**

**propriedade do espaço**

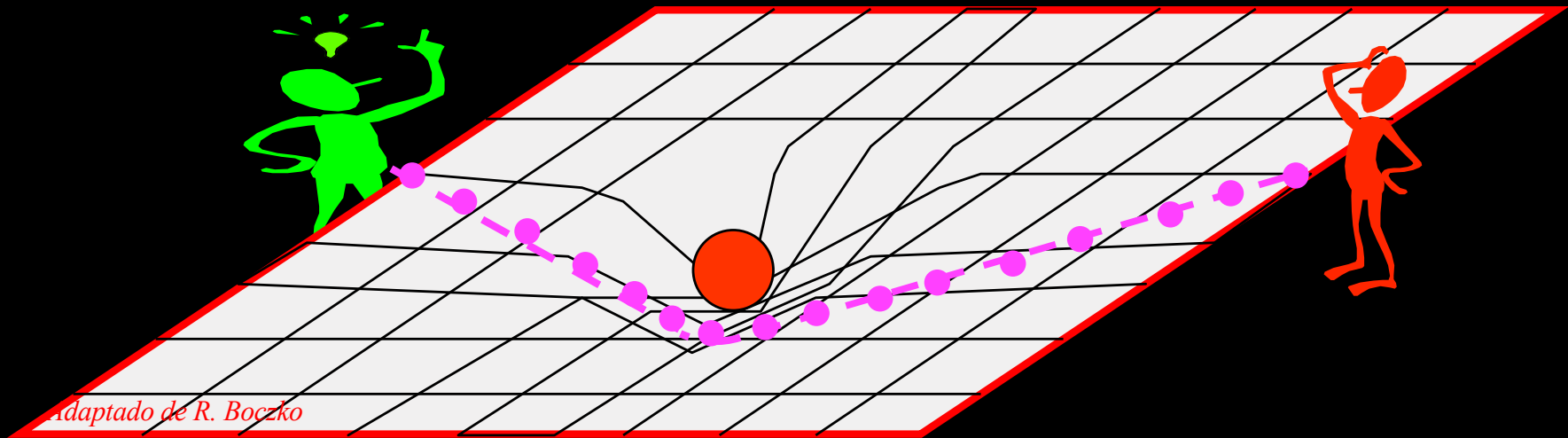
# gravidade

## *Visão Newtoniana*



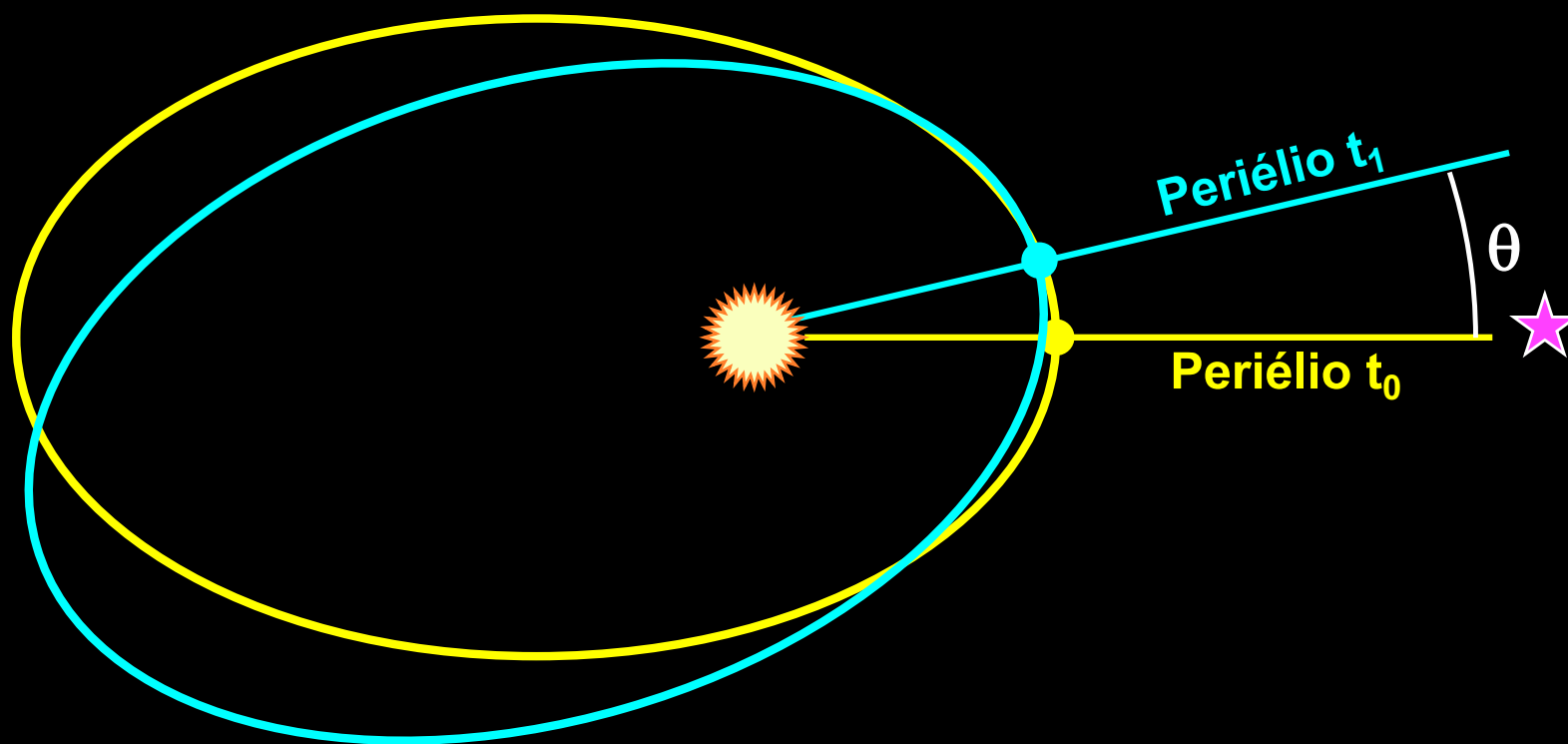
# gravidade

## *Visão Einsteiniana*



*início sec. XX  $\Rightarrow$  precision  $\sim 0.1''$*

*Deslocamento do Periélio de Mercúrio*



*observação  $\Rightarrow \theta = 5,7''/\text{ano}$*

*Gravitação Universal  $\Rightarrow \theta = 5,3''/\text{ano}$*

*Relatividade Geral  $\Rightarrow \theta = 5,7''/\text{ano}$*

*início sec. XX  $\Rightarrow$  precision  $\sim 0.1''$*

# gravidade

*propriedade dos corpos?*

*1687 - Newton*

*OU*

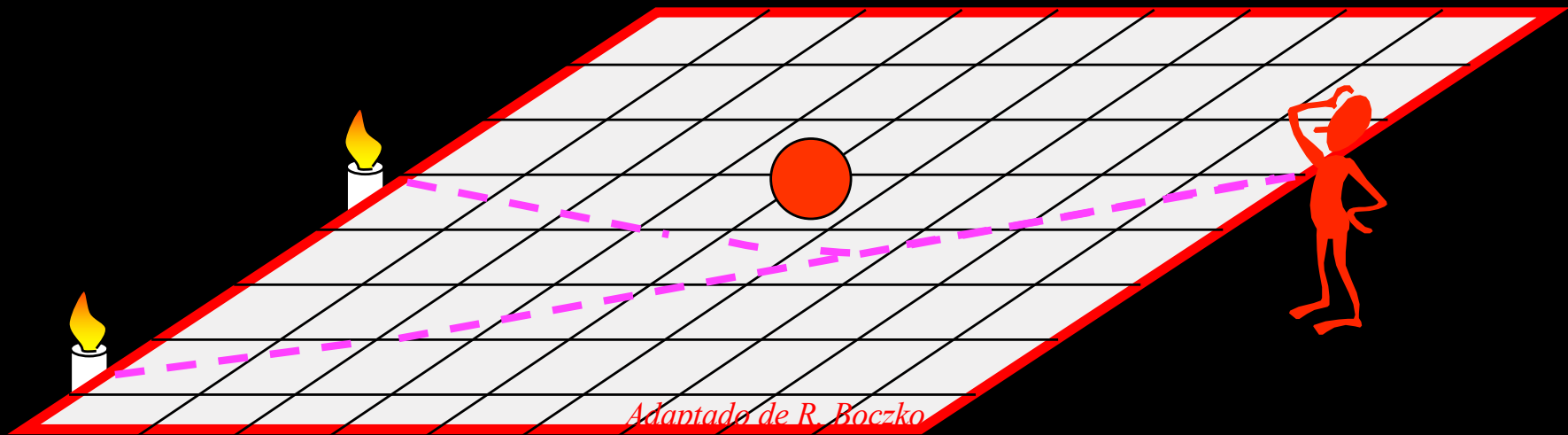
*propriedade do espaço?*

*1915 - Einstein*

# gravidade

## deflexão gravitacional da luz

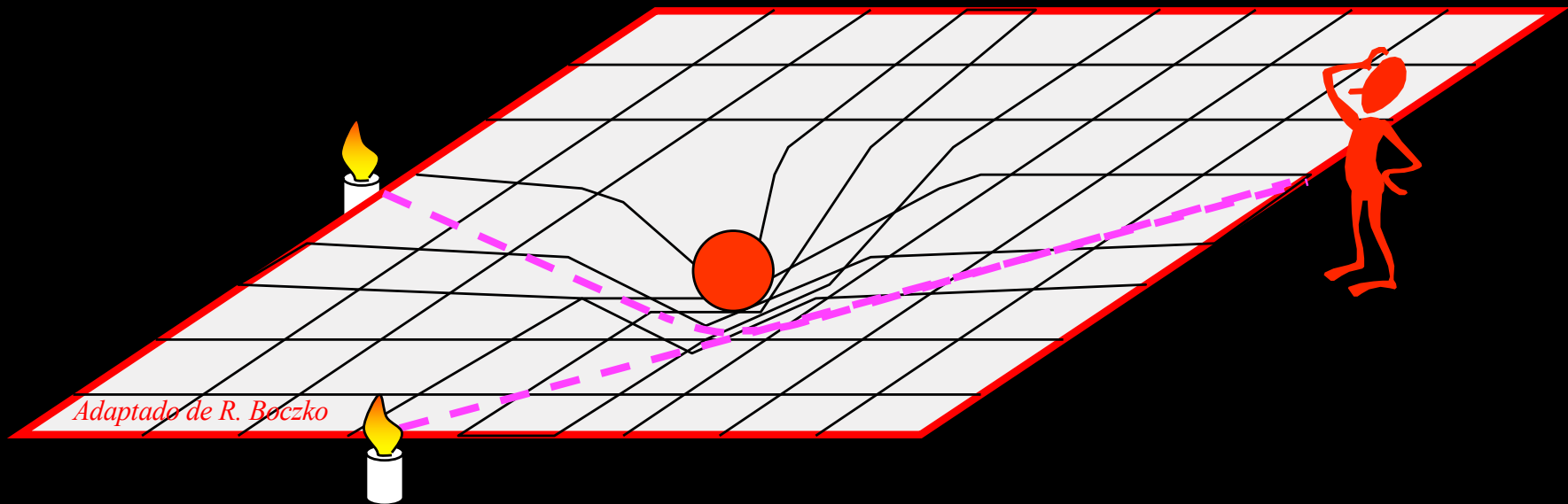
### *Visão Newtoniana*



# gravidade

## deflexão gravitacional da luz

### *Visão Einsteiniana*

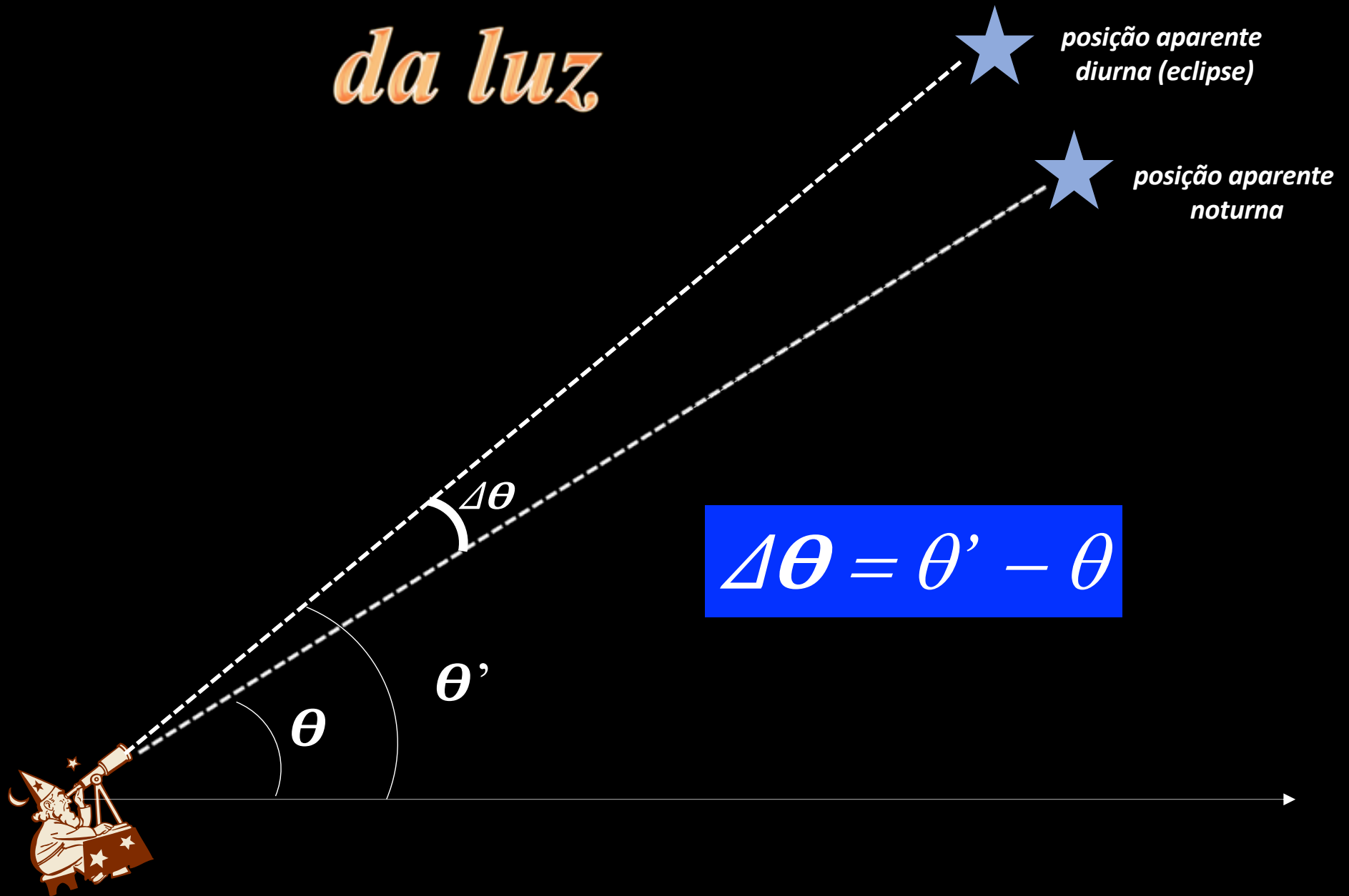


# *Deflexão gravitacional da luz*





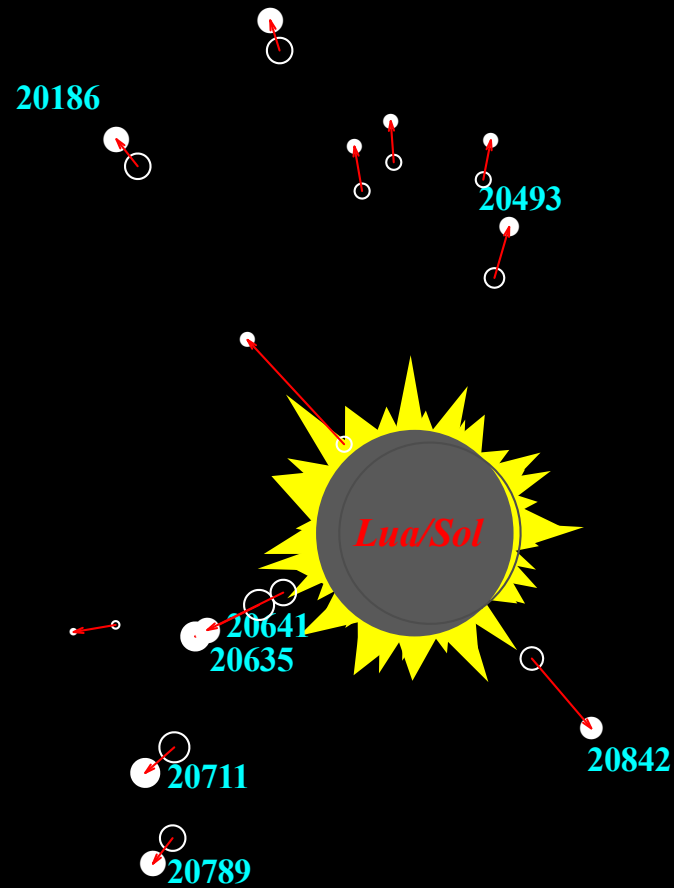
# *Deflexão gravitacional da luz*



*Sobral – CE*  
*29 de Maio 1919*



# *Deslocamento teórico aumentado de 1200 vezes*



*Posições noturnas*

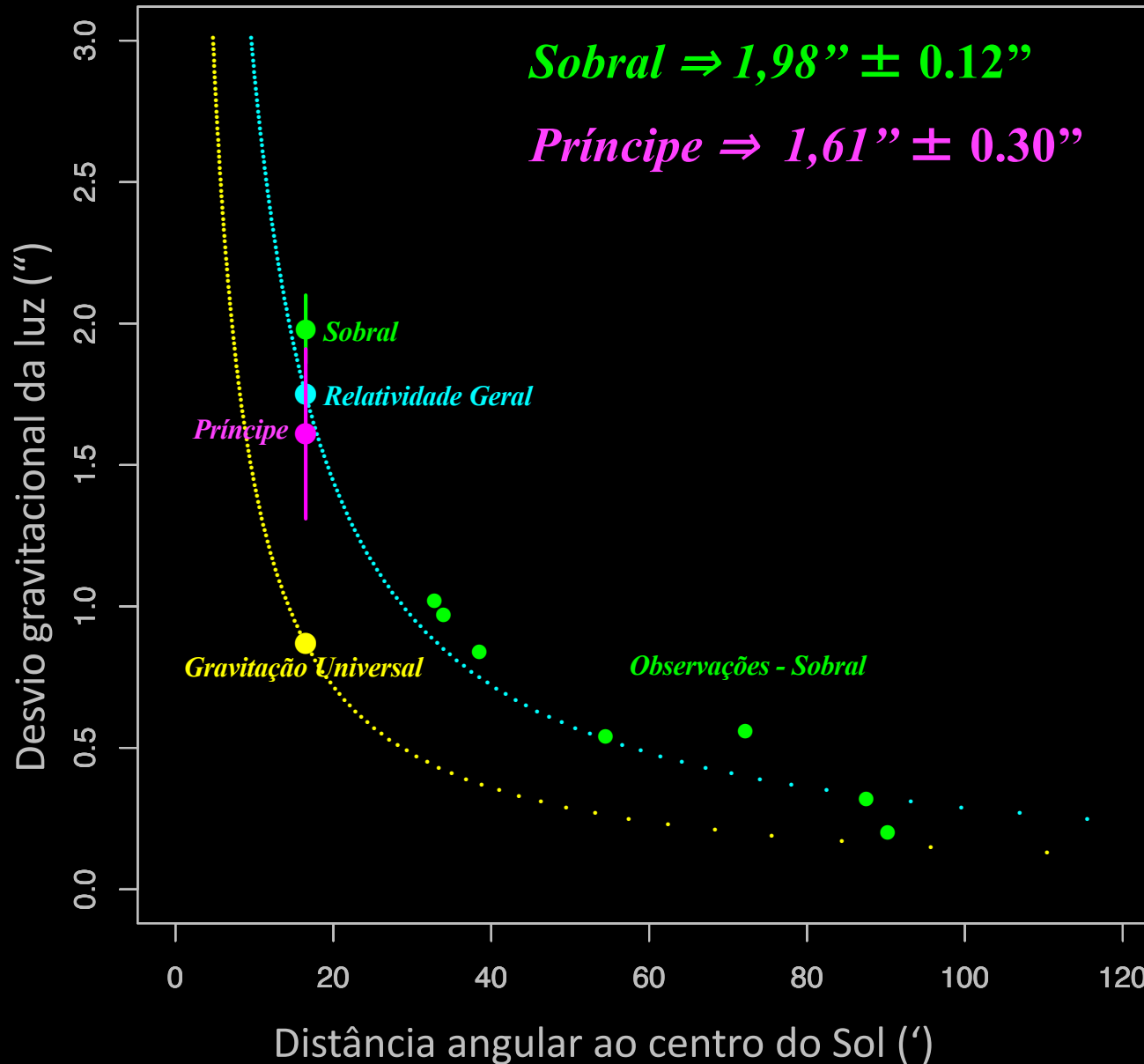


*Posições diurnas (eclipse)*

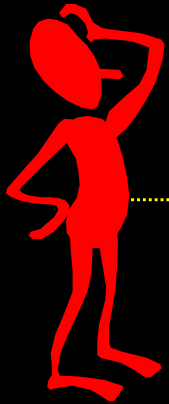
# Deflexão gravitacional da luz

Newton  
 $\Delta\theta = 0.87''$

Einstein  
 $\Delta\theta = 1.75''$



*final sec. XX  $\Rightarrow$  precision  $\sim 0.001''$*



400.000km

*Reinhard Genzel (1952 - )*

*Andrea Ghez (1965 - )*



*massa do buraco negro  
super massivo (SagA) da Via Láctea  
(4 milhões de massas solares)*

# *Missão Espacial: HIPPARCOS (1989)*

*High Precision Parallax Collecting Satellite*



*paralaxes de  
120 mil estrelas*



# *Era HIPPARCOS*



*antes de 1997*

*HIPPARCOS*

# o que mudou?

- *40% das estrelas vizinhas erroneamente classificadas.*
- *10% correção na escala de distância.*



*RR Lyrae 10 bilhões de anos*

*Universo 14 bilhões de anos*



# *Missão Espacial Gaia (desde de 2014)*

*precisão ~ 0.000010''*



40.000.000 km



*~ 2 bilhões de estrelas...*



*abundância e precisões  
sem precedentes*



*revolução na  
base de dados*

# *Conteúdo observacional*

*Posição, movimento próprio e paralaxe*

*Brilho  $G$  ( $<21$ ),  $B$  e  $R$*

*Foto-espectro  $BP$  e  $RP$*

*Espectro  $V_R$*



# Telescópios Gaia



Crédito: ESA/Gaia/DPAC - EADS Astrium

# *Observações Gaia (07/2014)*

**DADOS OBSERVACIONAIS**



*Data Processing and Analysis Consortium  
Gaia - DPAC*

*para o mundo todo  
ao mesmo tempo*

# liberação de dados

- *DR1 – 2016 – 14 meses*
- *DR2 – 2018 – 22 meses*
- *DR3 – 2020/22 – 34 meses*
- *DR4 – 2025 – 66 meses*
- *DR5 – 2030 – 120 meses*

# *Era Gaia*



*paralaxe*

*HIPPARCOS*

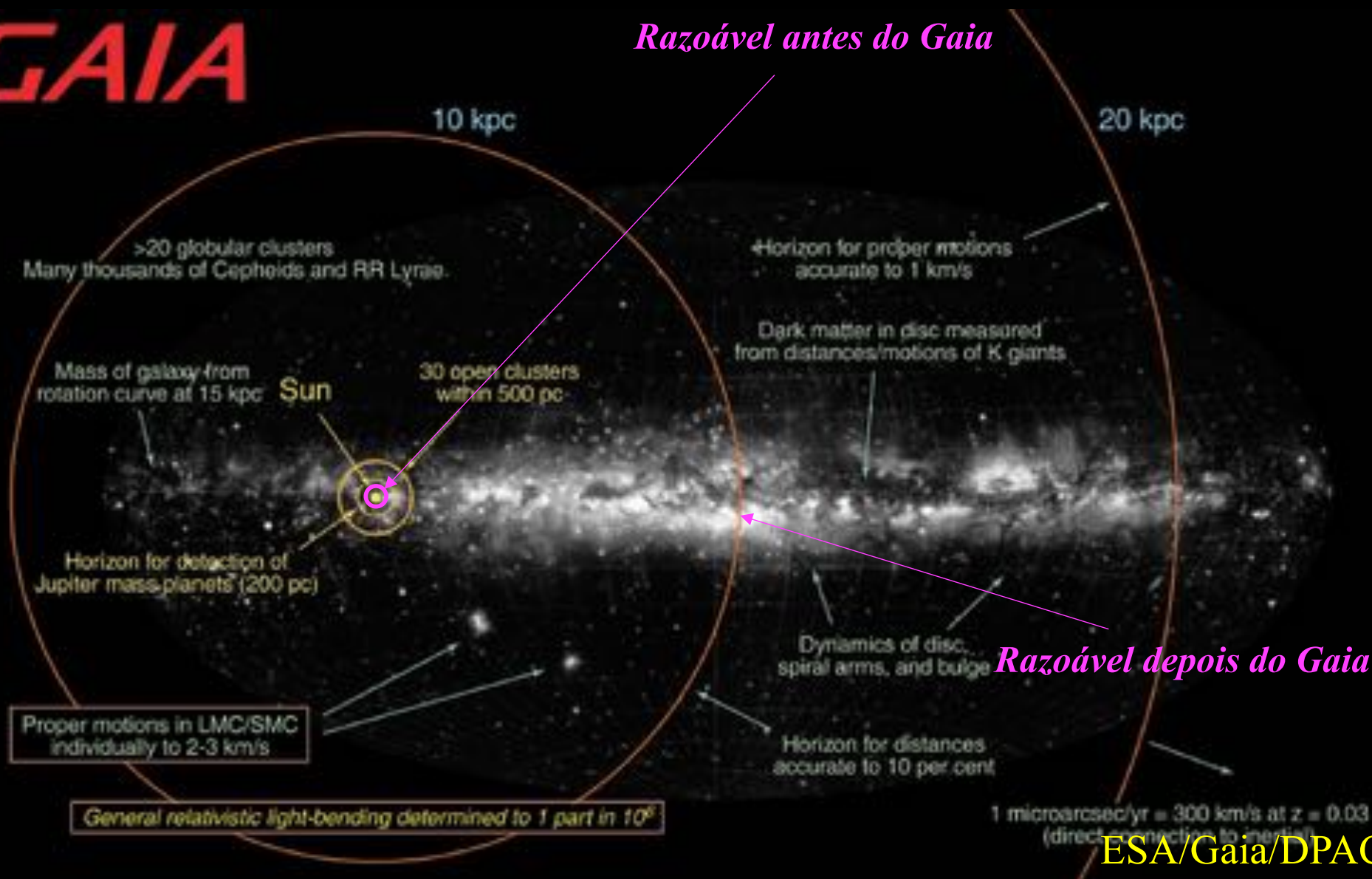
*Gaia*



# Era Gaia

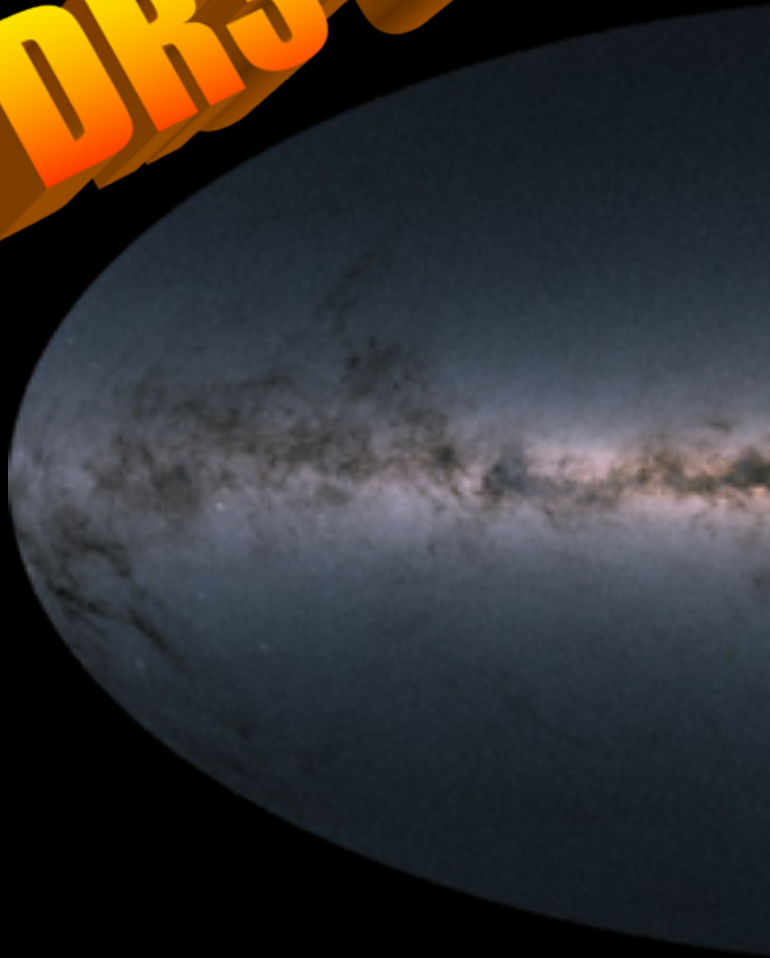
## GAIA

*Razoável antes do Gaia*

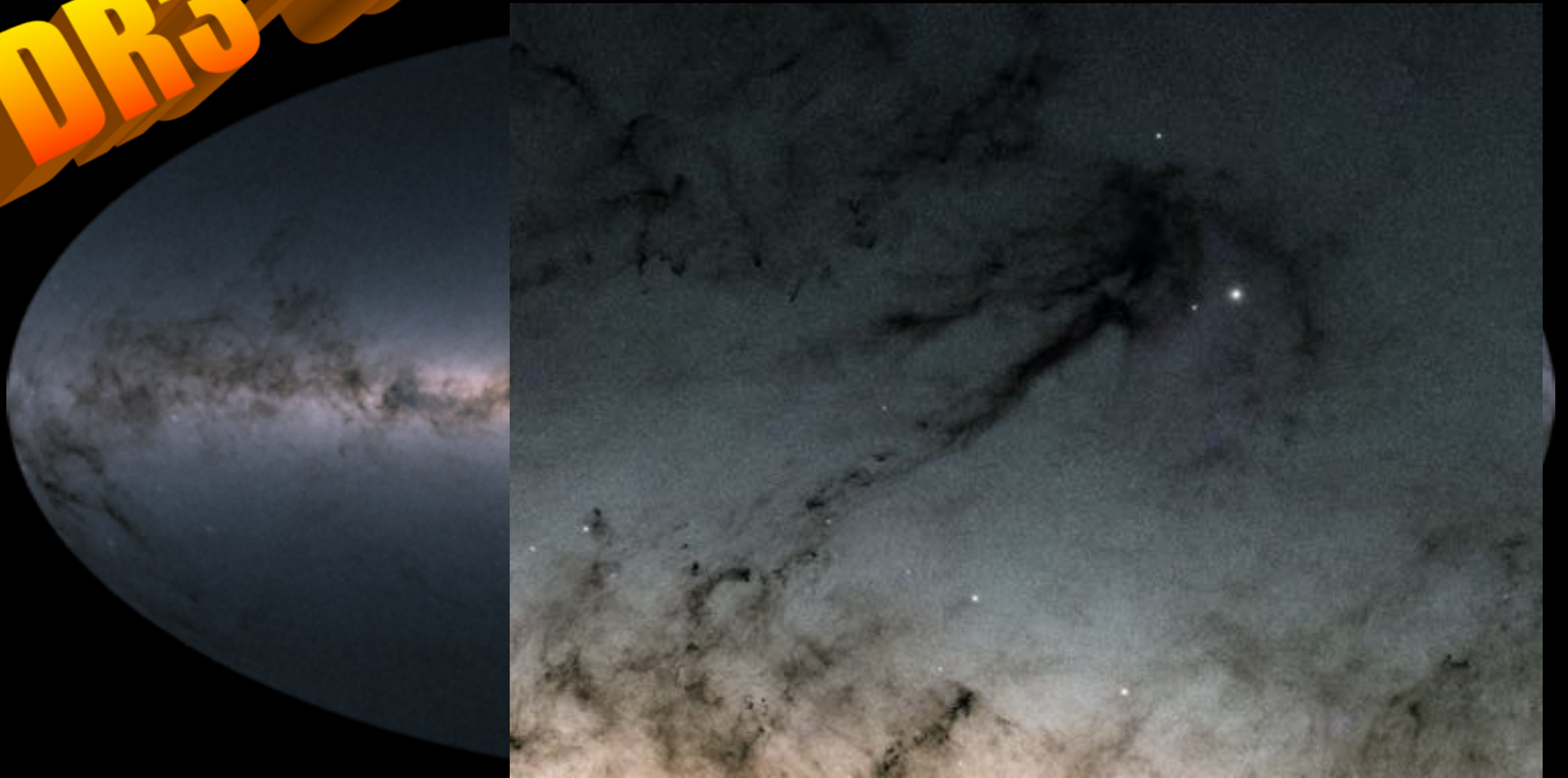


*Razoável depois do Gaia*

# DR3 - estelar



# DR3 - estelar

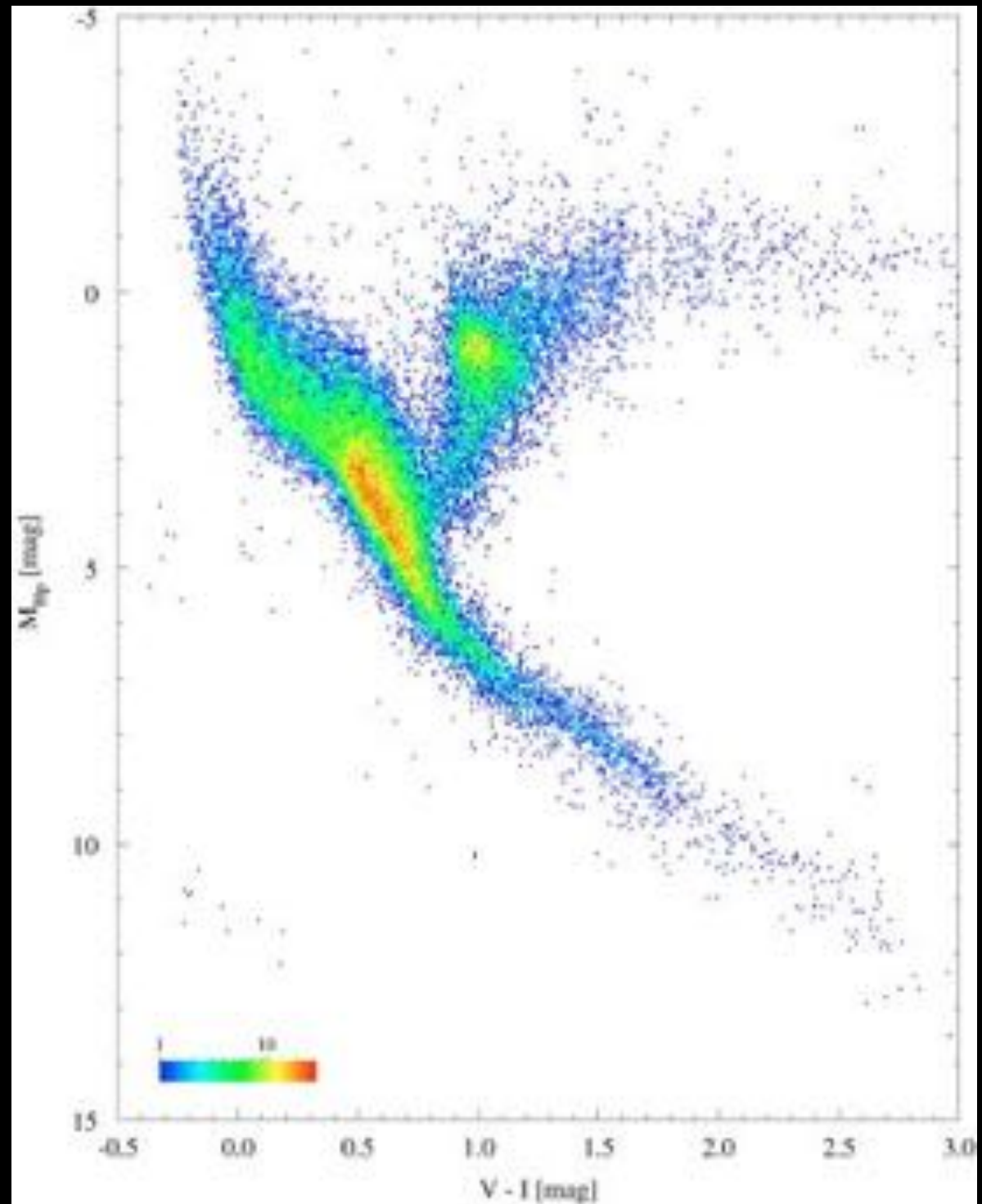


**DR3 - estelar**

**Diagrama  
HR**

**HIPPARCOS**

*40 mil estrelas*

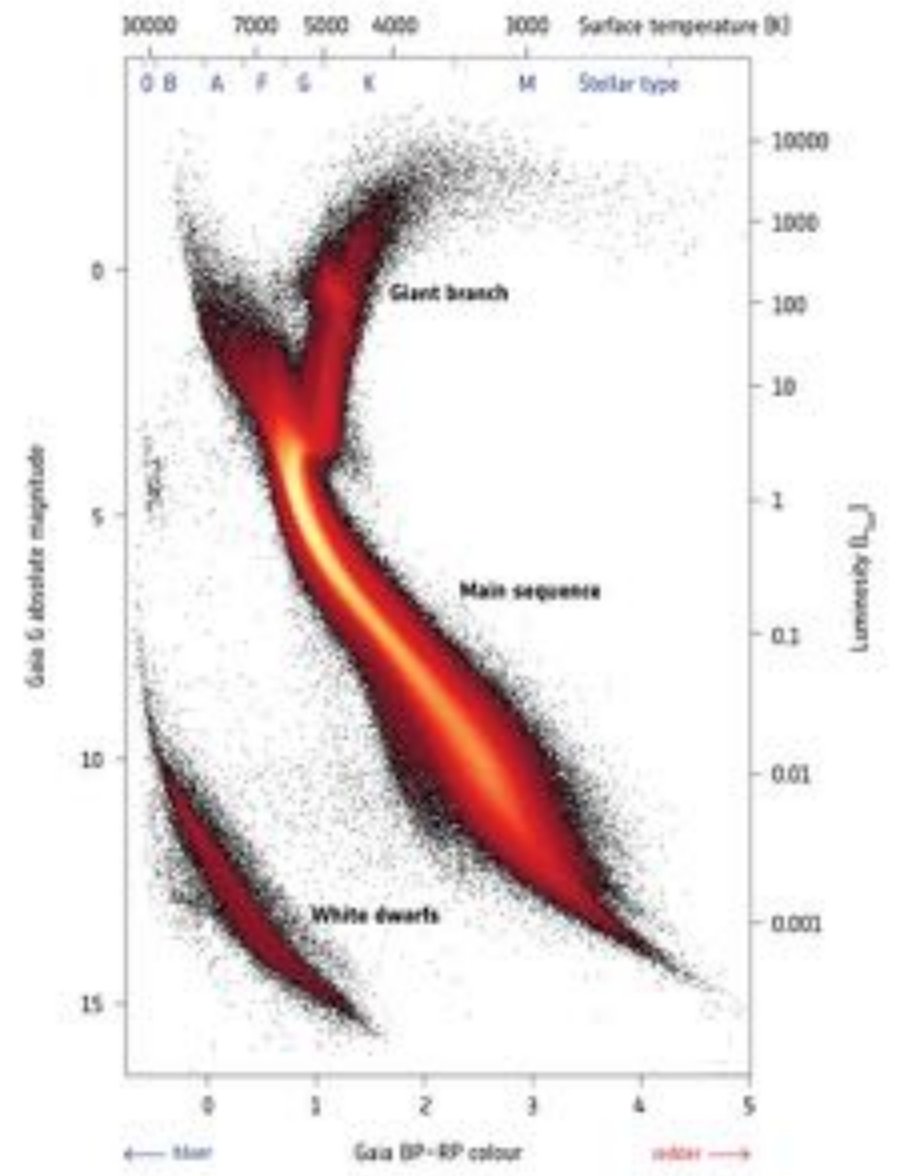


# DR3 - estelar

## Diagrama HR Gaia

*4,3 milhões de estrelas  
a menos de 5 mil a.l.*

→ GAIA'S HERTZSPRUNG-RUSSELL DIAGRAM



# *Surto de formação de estrelas na Via Láctea – Gaia DR2*

Sagittarius  
Dwarf Galaxy

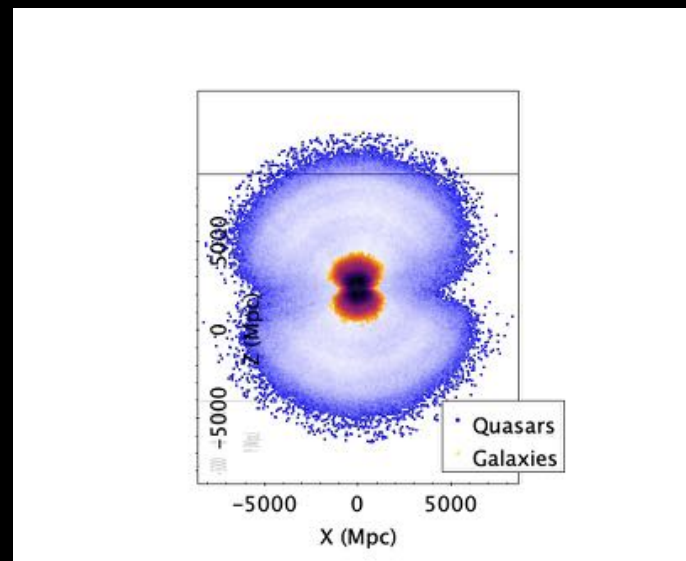


Milky Way

# DR3 – Sistema Solar

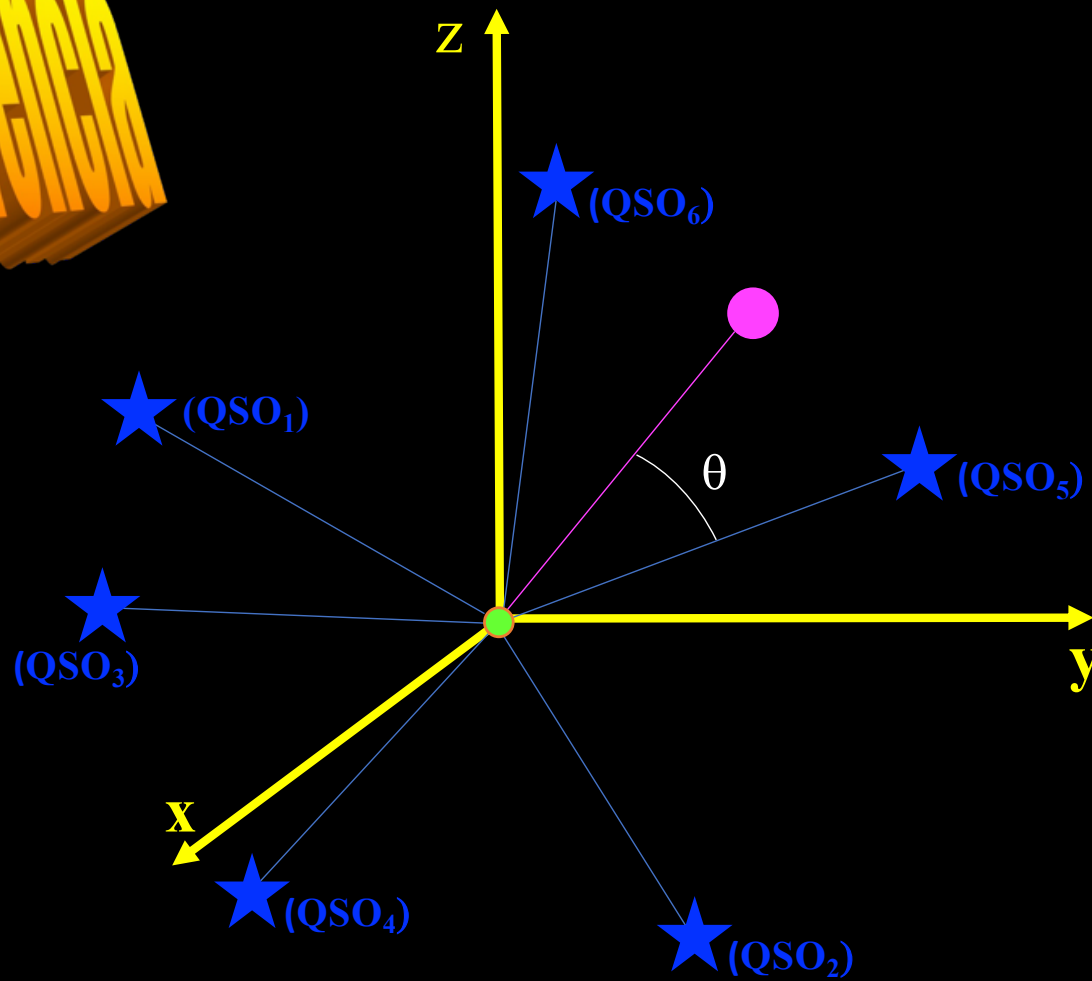
# DR3 - extra-galático

- *Posições e brilhos - 1,9 milhão de quasares*
- *2,9 milhões de galáxias - 800 mil perfis de brilho*
- *60 mil galáxias hospedeiras - 15 mil perfis de brilho*





# Sistema de Referência



**SISTEMA DE REFERÊNCIA**

*International Celestial Reference Frame*

**300 quasares**

*Gaia Celestial Reference Frame*

**1,6 milhão de “quasares”**

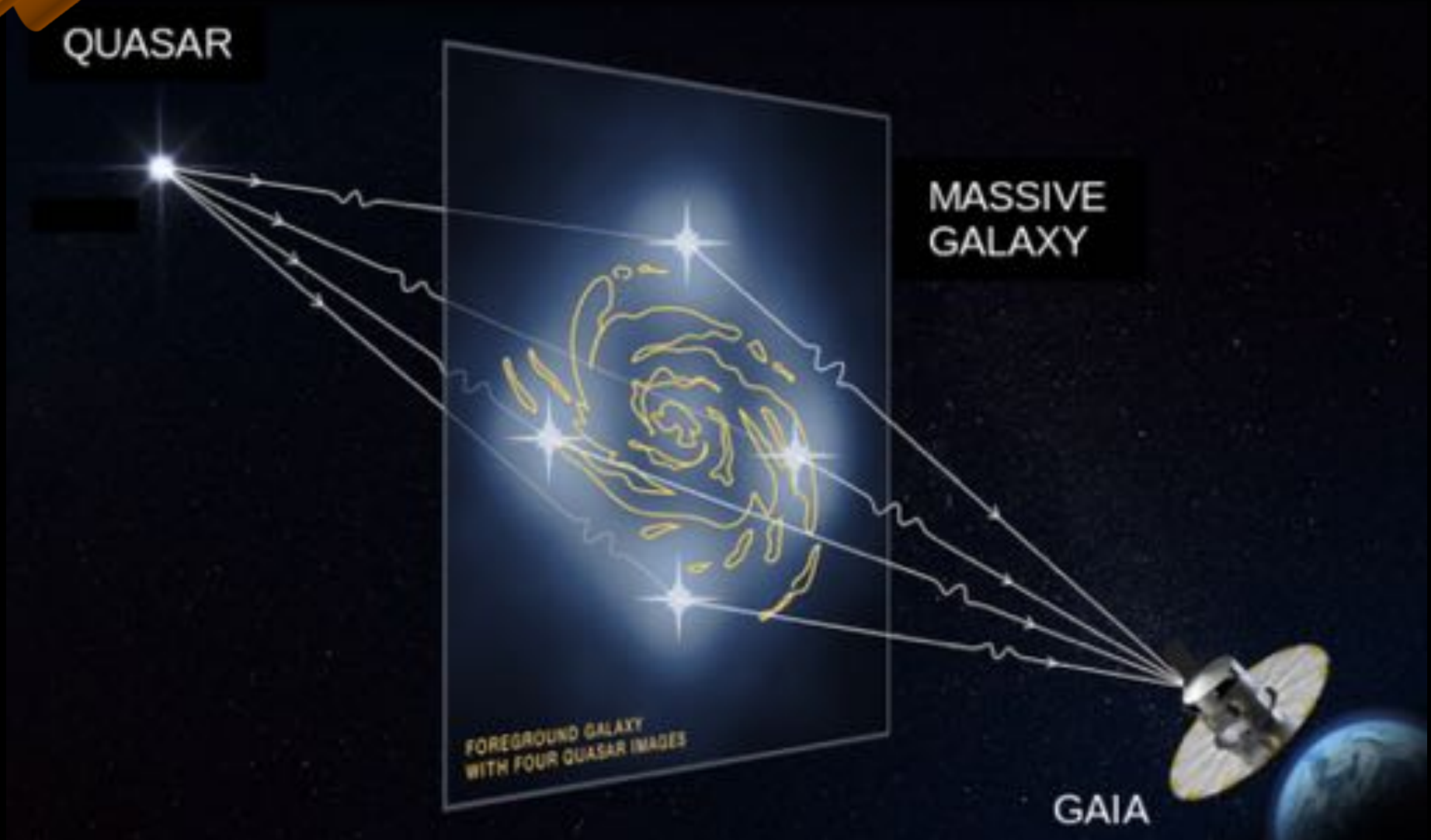
# Lentes gravitacionais

QUASAR

MASSIVE GALAXY

FOREGROUND GALAXY WITH FOUR QUASAR IMAGES

GAIA

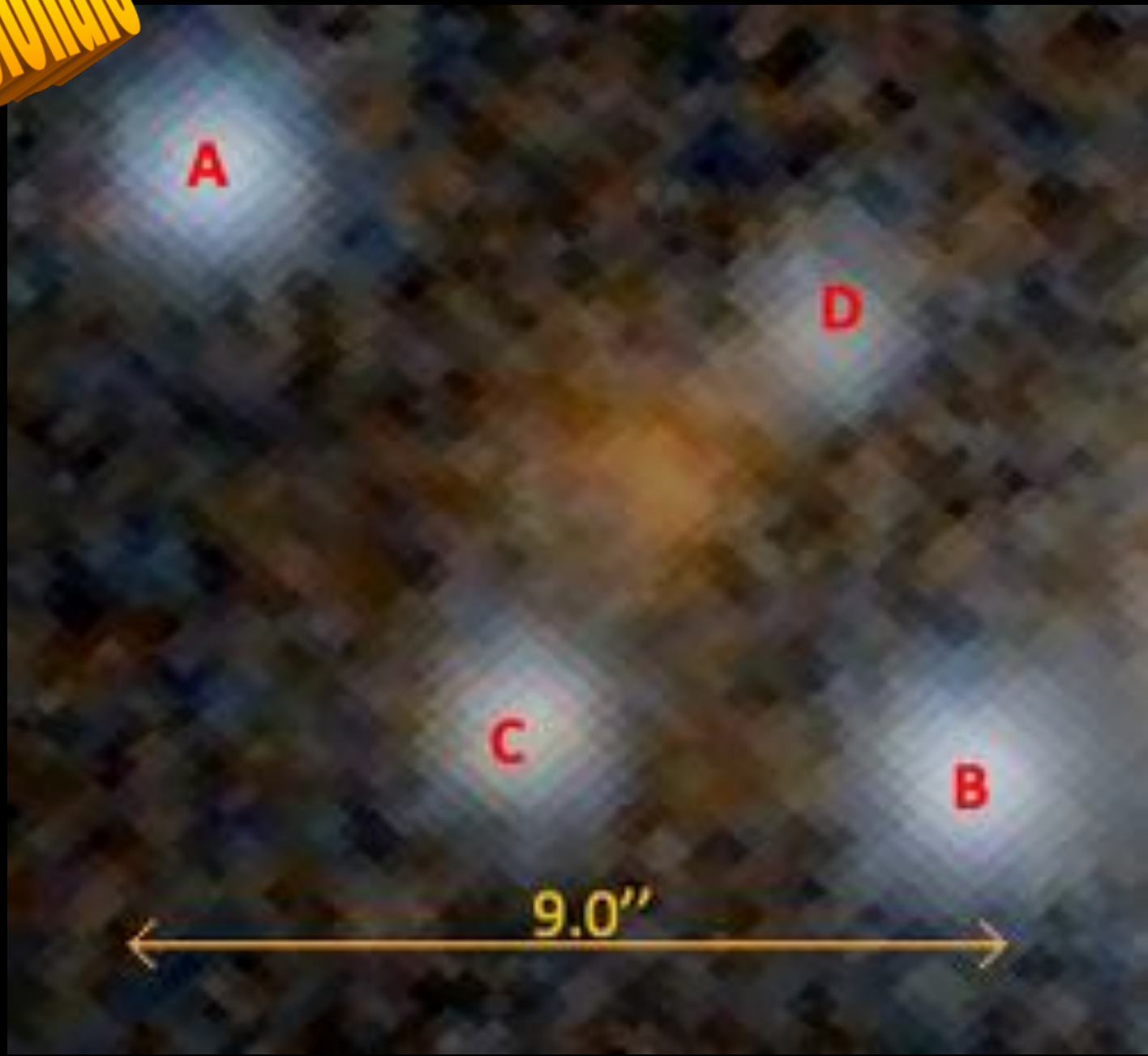


**Lentes gravitacionais**

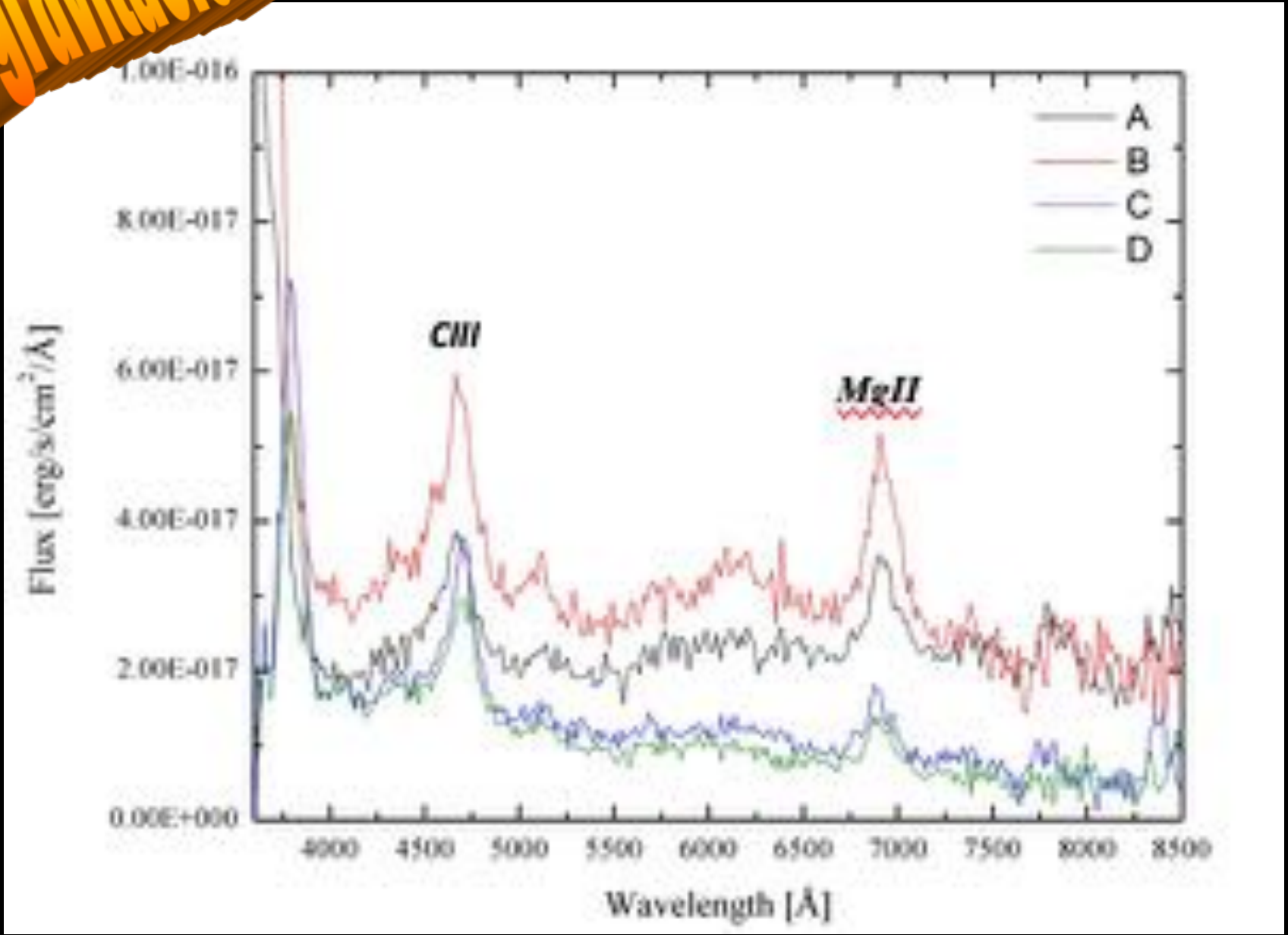
*415 lentes confirmadas*

*97 pelo grupo Gaia GrAL*

# Lentes gravitacionais

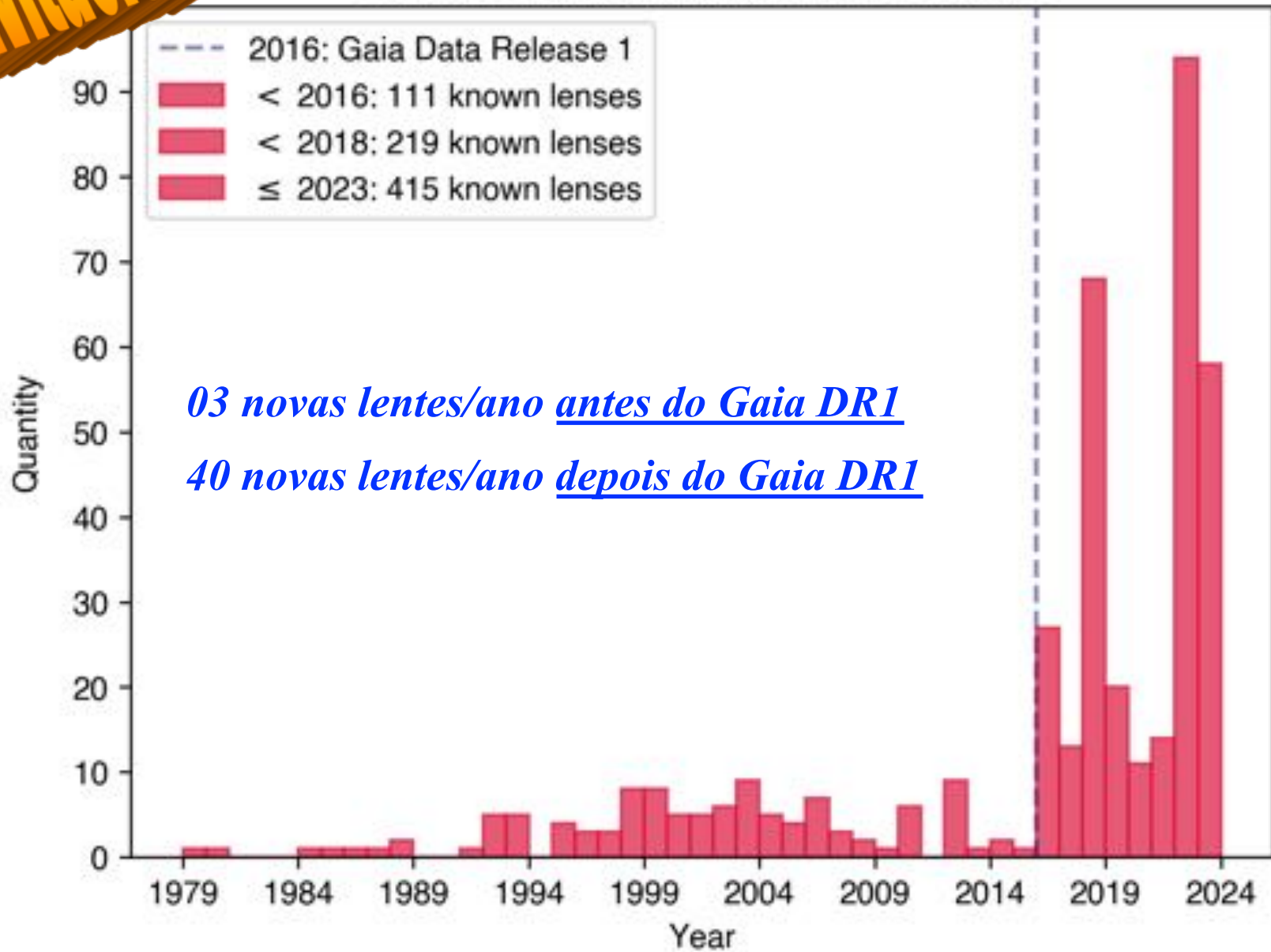


# LANTAS Y GALAXIAS



# Lentes gravitacionais

Confirmed gravitationally lensed quasars



aria space  
Lançamento de Satélites

00:13

**Abracos e  
muito obrigado**



*ESA/Gaia/DPAC*

**Lançamento – Dezembro/2013**