



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

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

observação



medidas

Astrometria



intensidade

posição

base do conhecimento

Posição



REFERÊNCIA



Quão longe...???

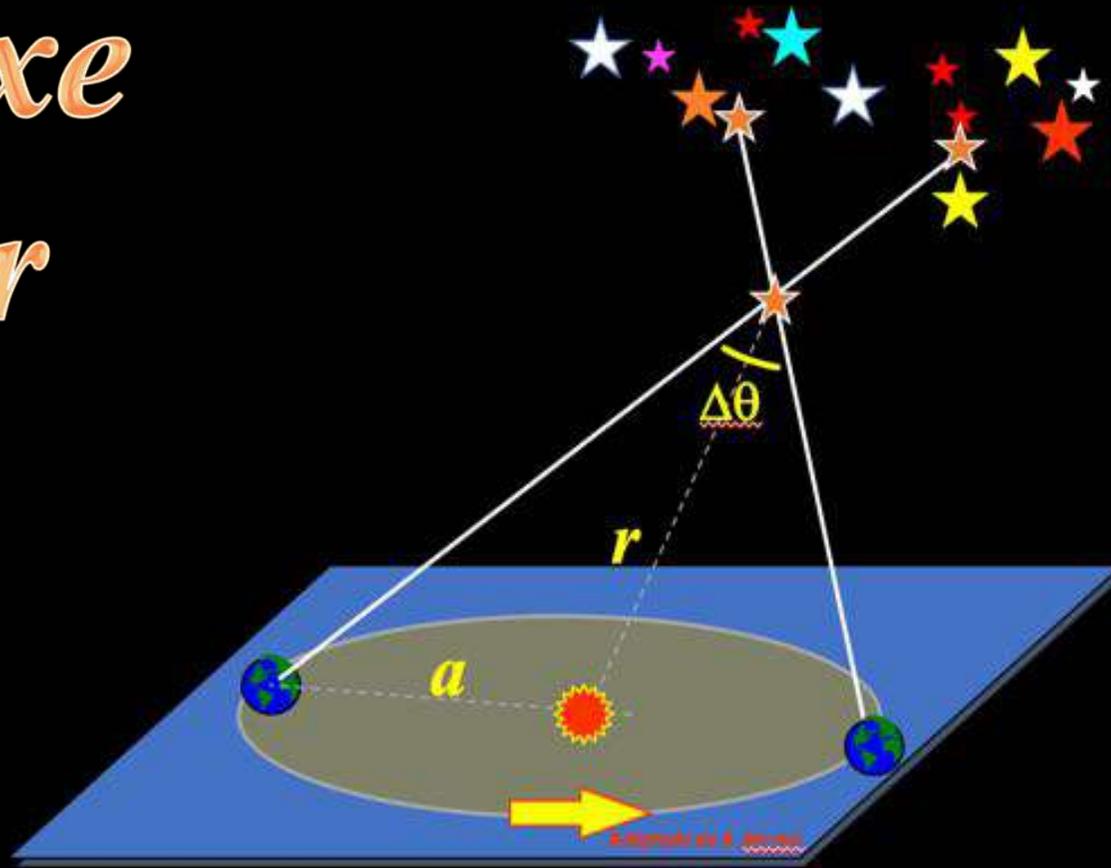
*distância
grandeza mais
importante da Astronomia*



*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*



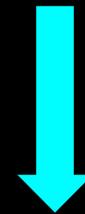
± 150 a.C. \Rightarrow precisão $\sim 1000''$



400m



Eratóstenes (276-196 a.C.)



diâmetro da Terra

sec. XVI ⇒ precisão ~ 100''

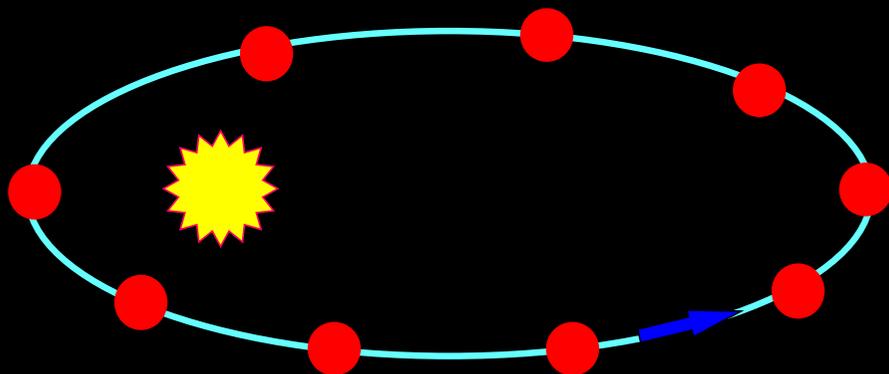


4km



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



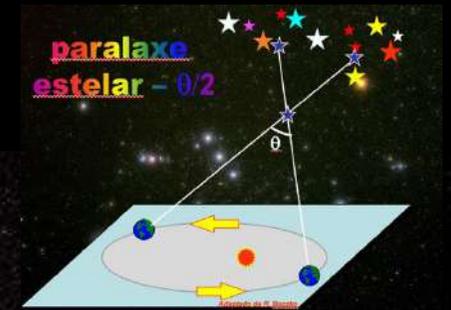
Bessel (1784-1846)

Henderson (1798-1844)

e Struve (1793-1864)



primeiras paralaxes

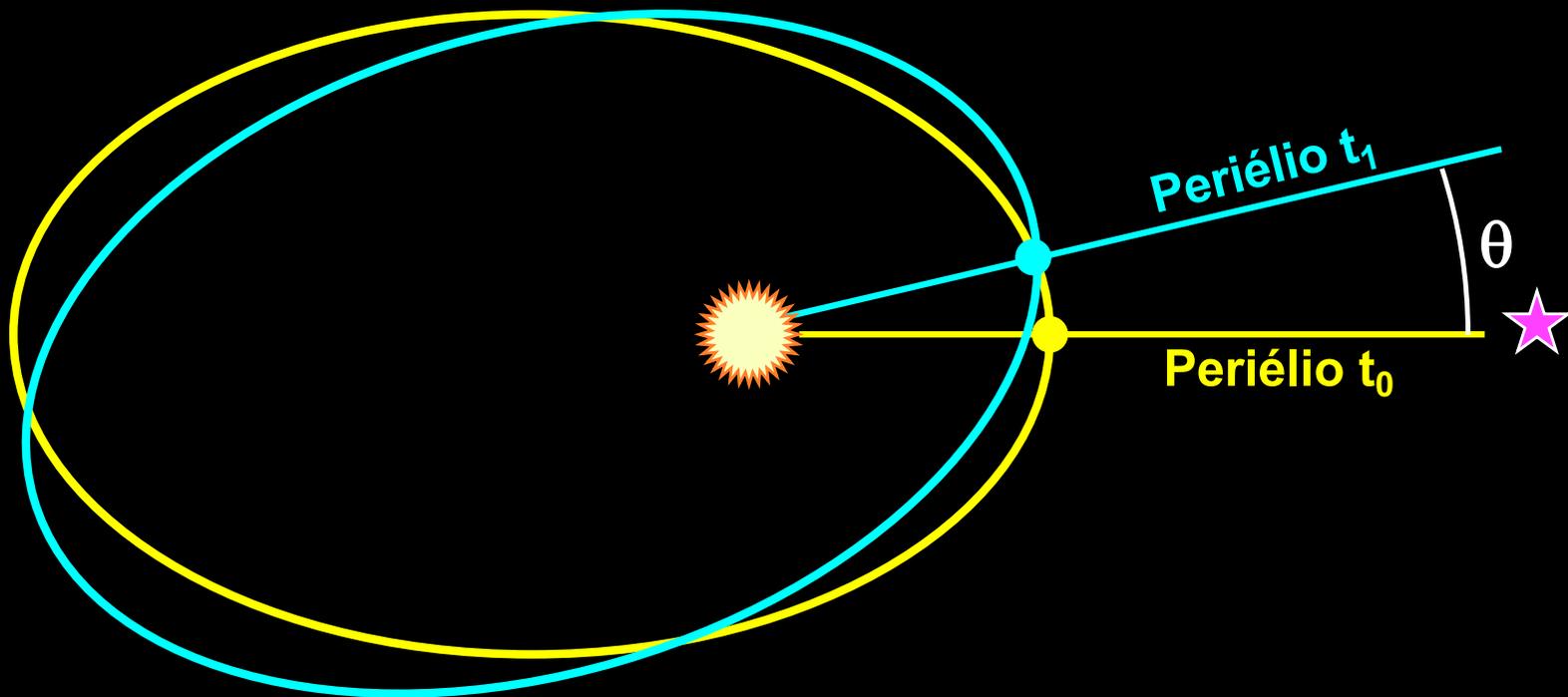


início sec. XX \Rightarrow precision $\sim 0.1''$



Deslocamento do Periélio de Mercúrio

4.000km



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

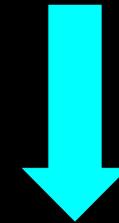
Gravitação Universal $\Rightarrow \theta = 5,3''/\text{ano}$

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



Einstein - 1915

(1879 – 1955)



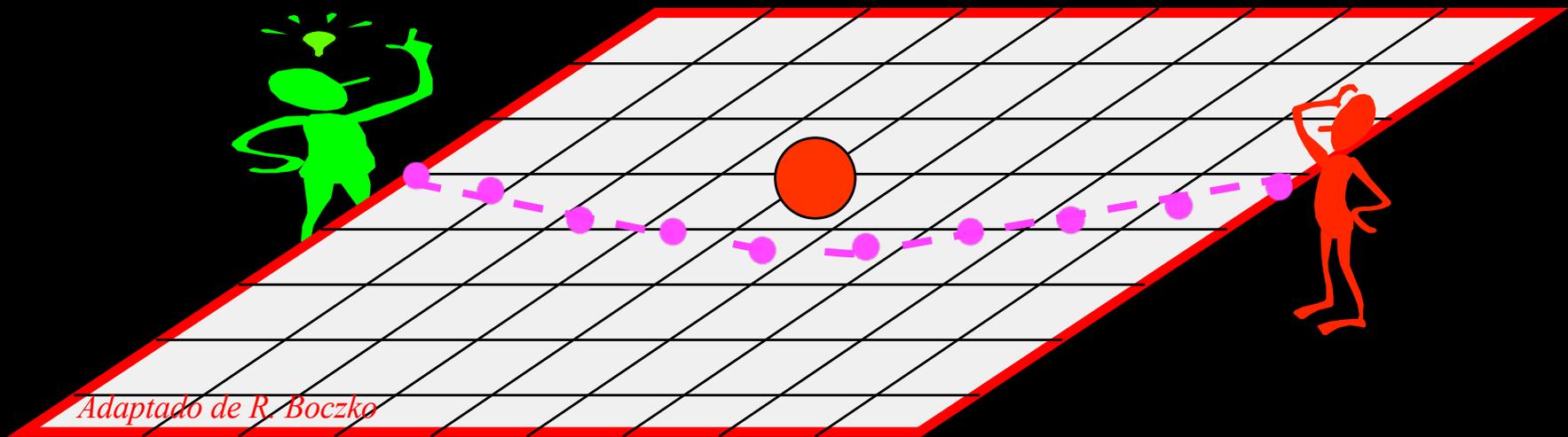
Relatividade Geral

gravidade:

propriedade do espaço

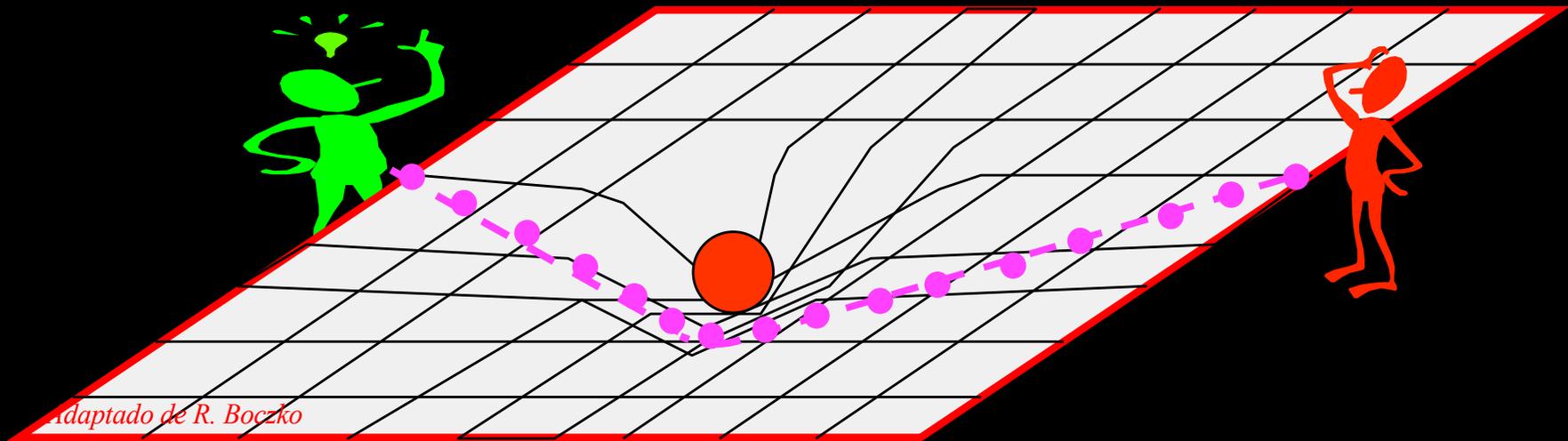
gravidade

Visão Newtoniana



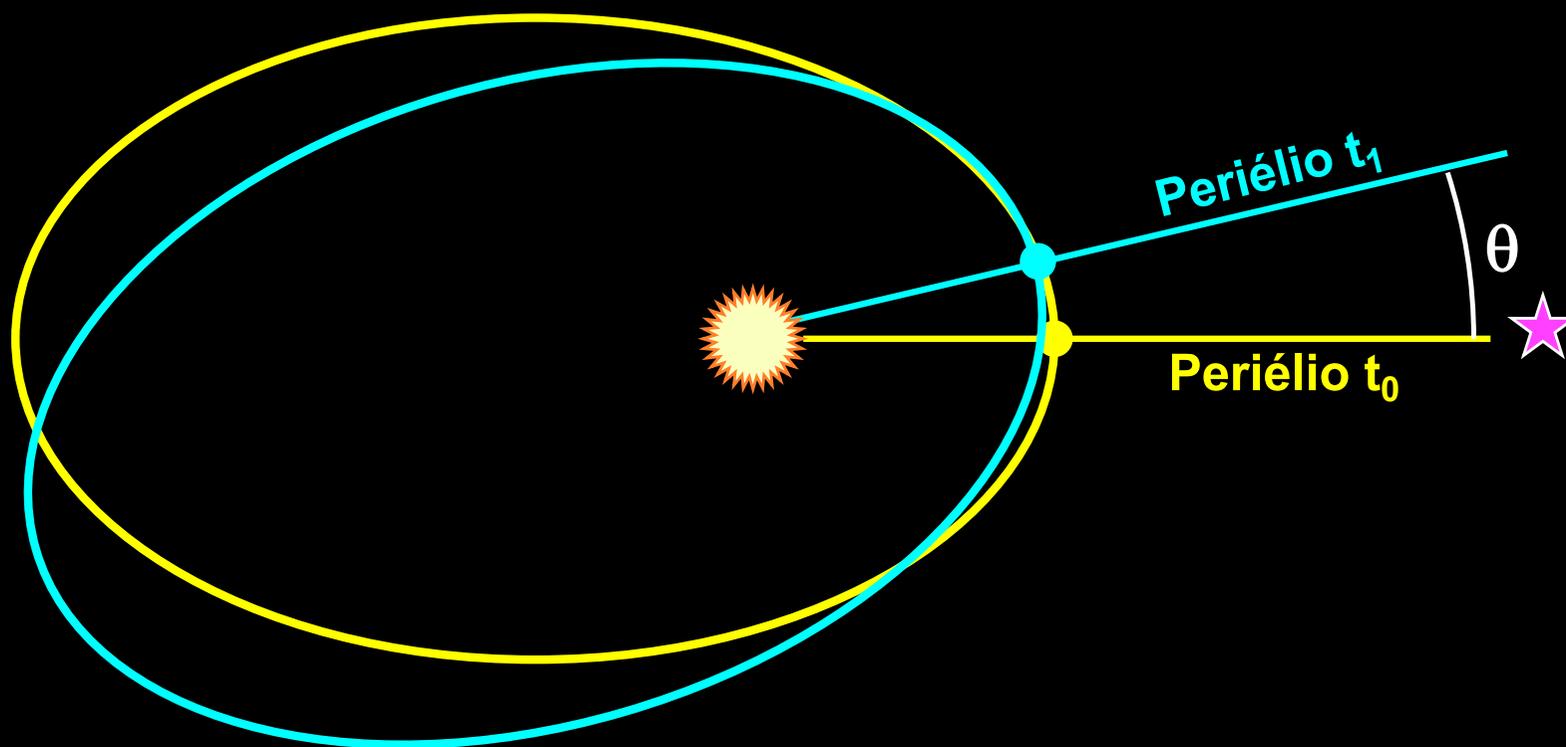
gravidade

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

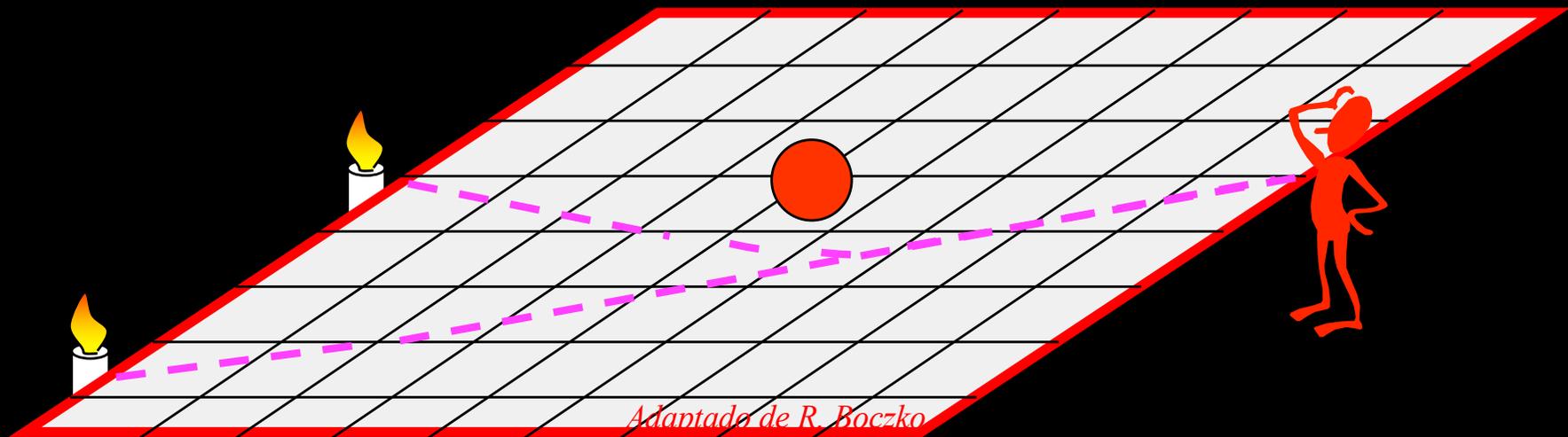
propriedade do espaço?

1915 - Einstein

gravidade

deflexão gravitacional da luz

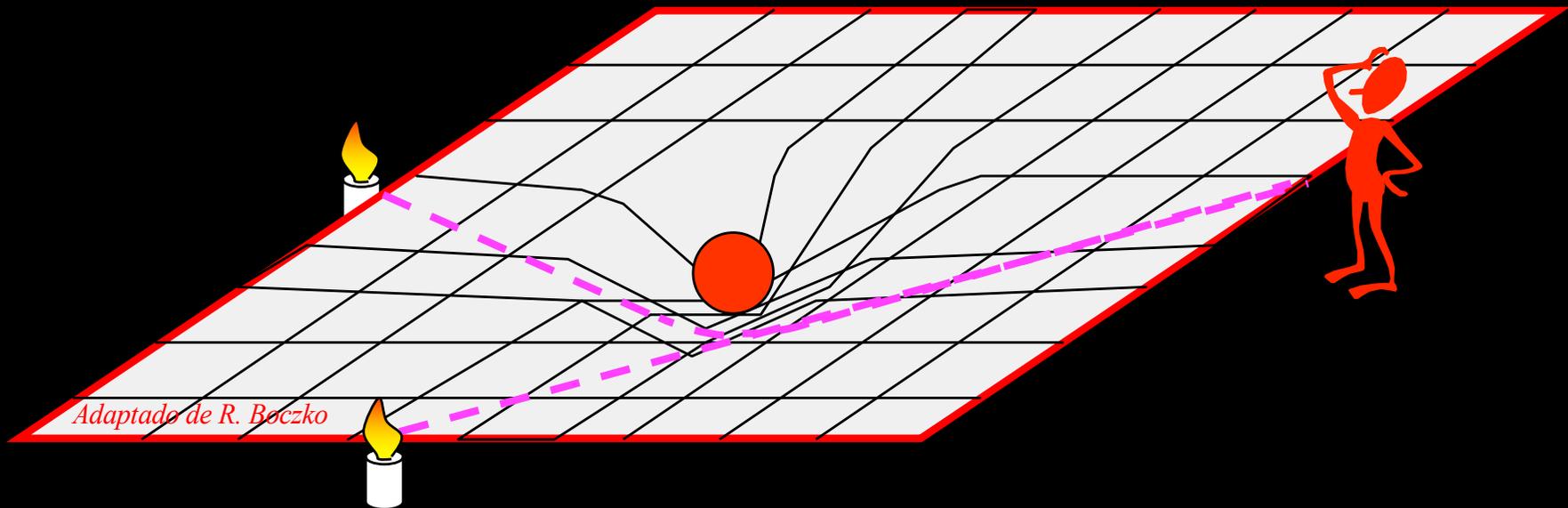
Visão Newtoniana



gravidade

deflexão gravitacional da luz

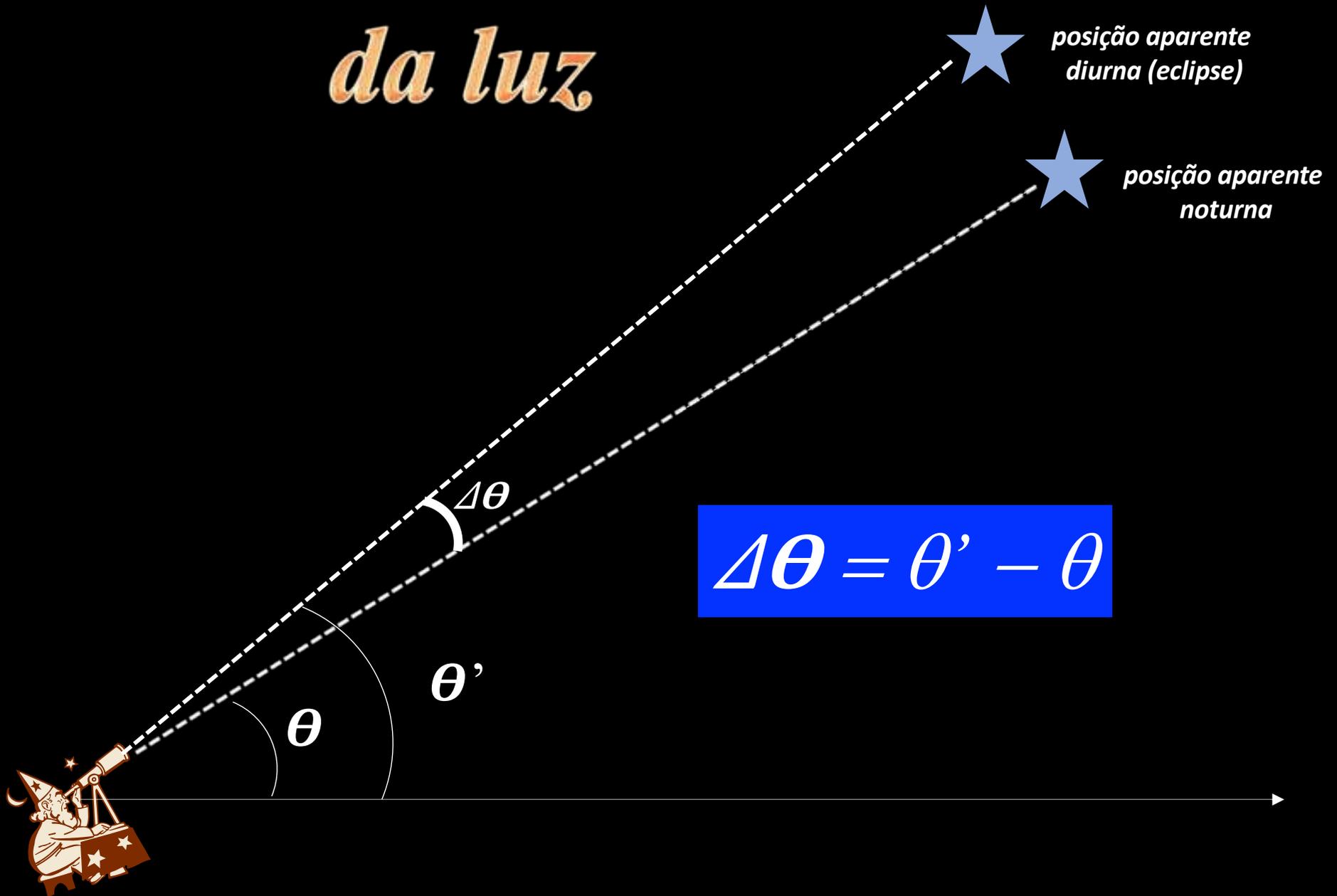
Visão Einsteiniana



Deflexão gravitacional da luz



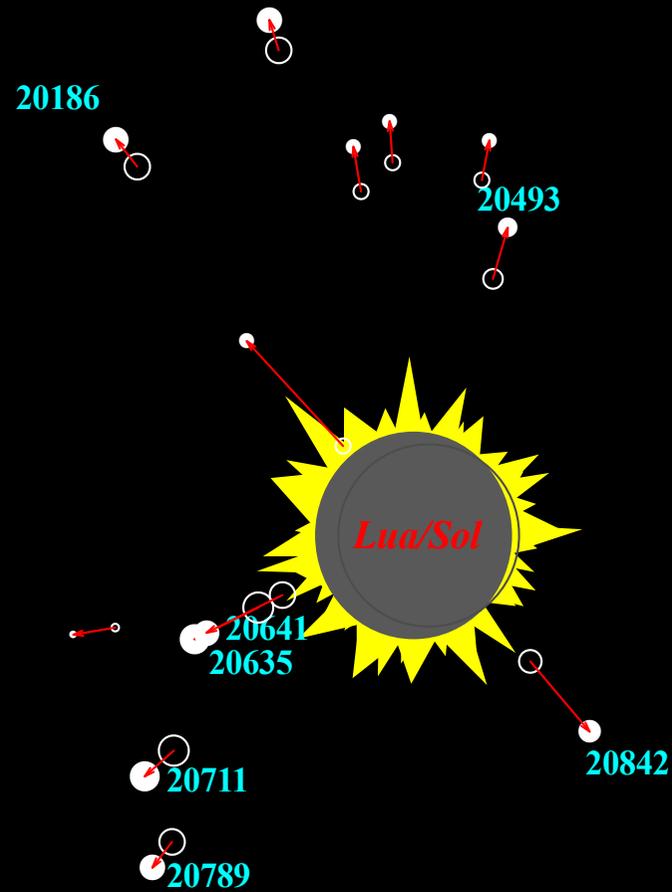
Deflexão gravitacional da luz



Sobral – CE
29 de Maio 1919



Deslocamento teórico aumentado de 1200 vezes



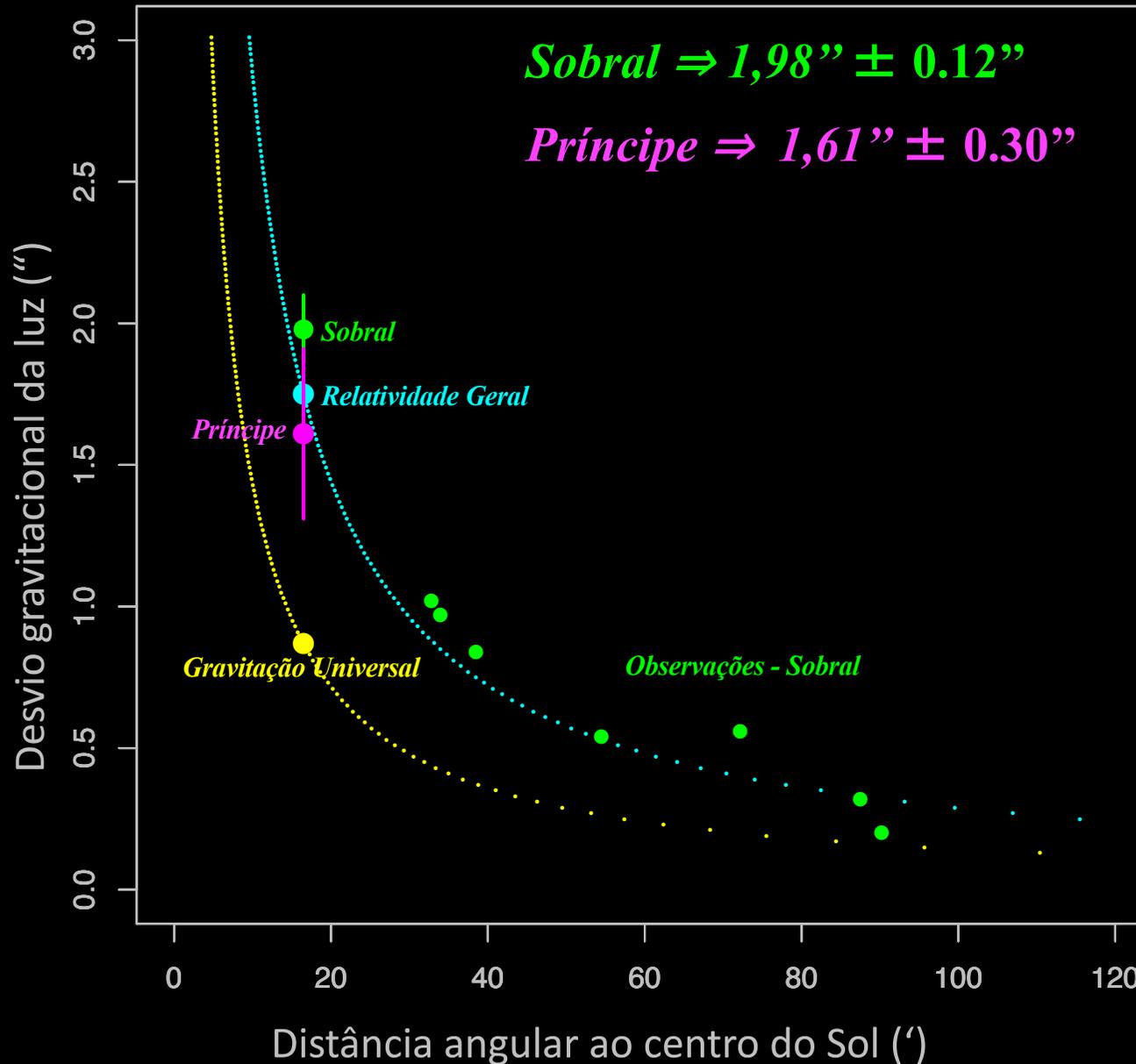
○ *Posições noturnas*

● *Posições diurnas (eclipse)*

Deflexão gravitacional da luz

Newton
 $\Delta\theta = 0.87''$

Einstein
 $\Delta\theta = 1.75''$



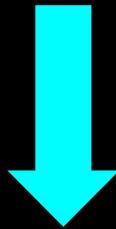
final sec. XX \Rightarrow precision $\sim 0.001''$



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



paralaxe

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

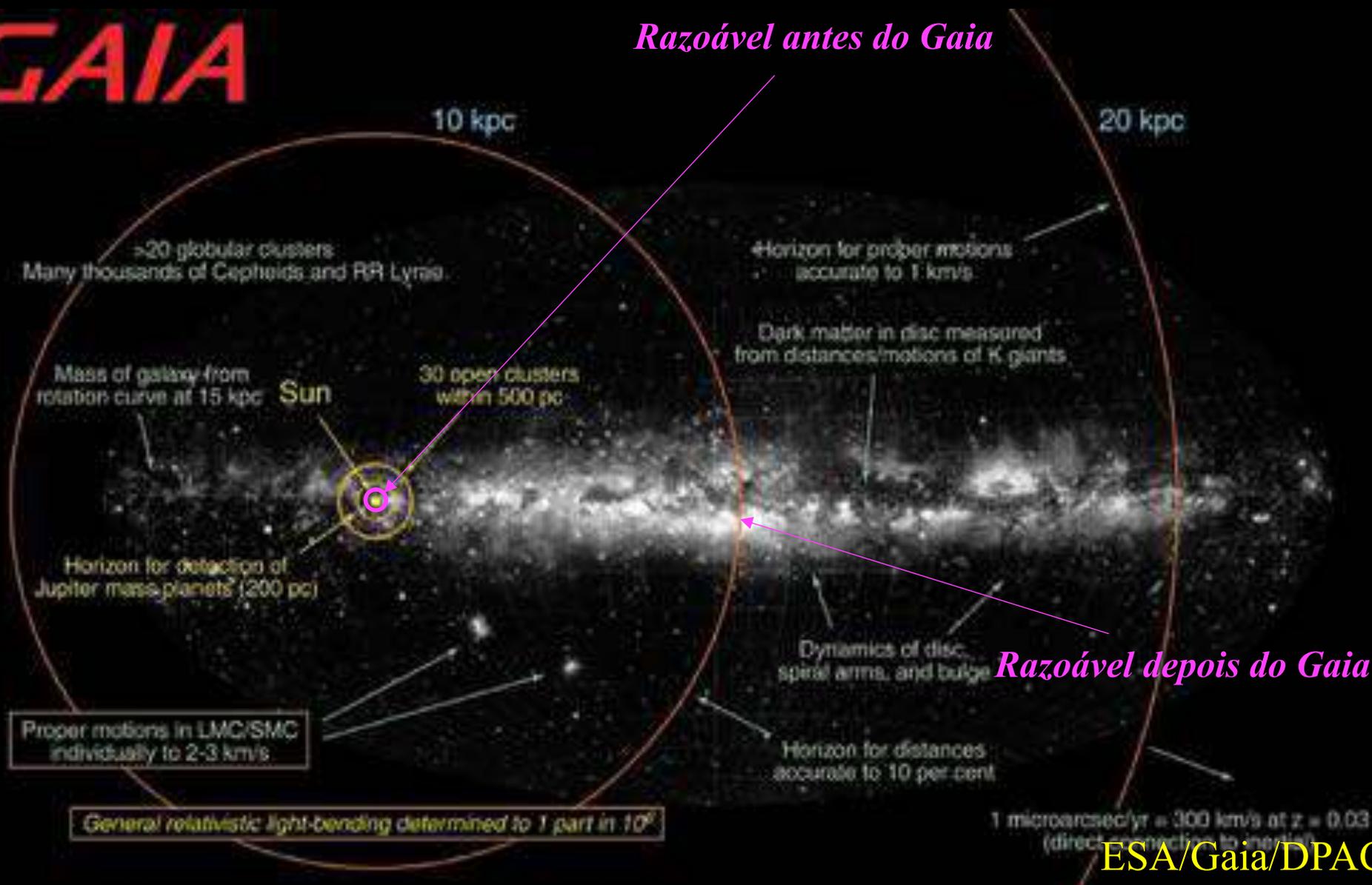
HIPPARCOS

Gaia

Era Gaia

GAIA

Razoável antes do Gaia

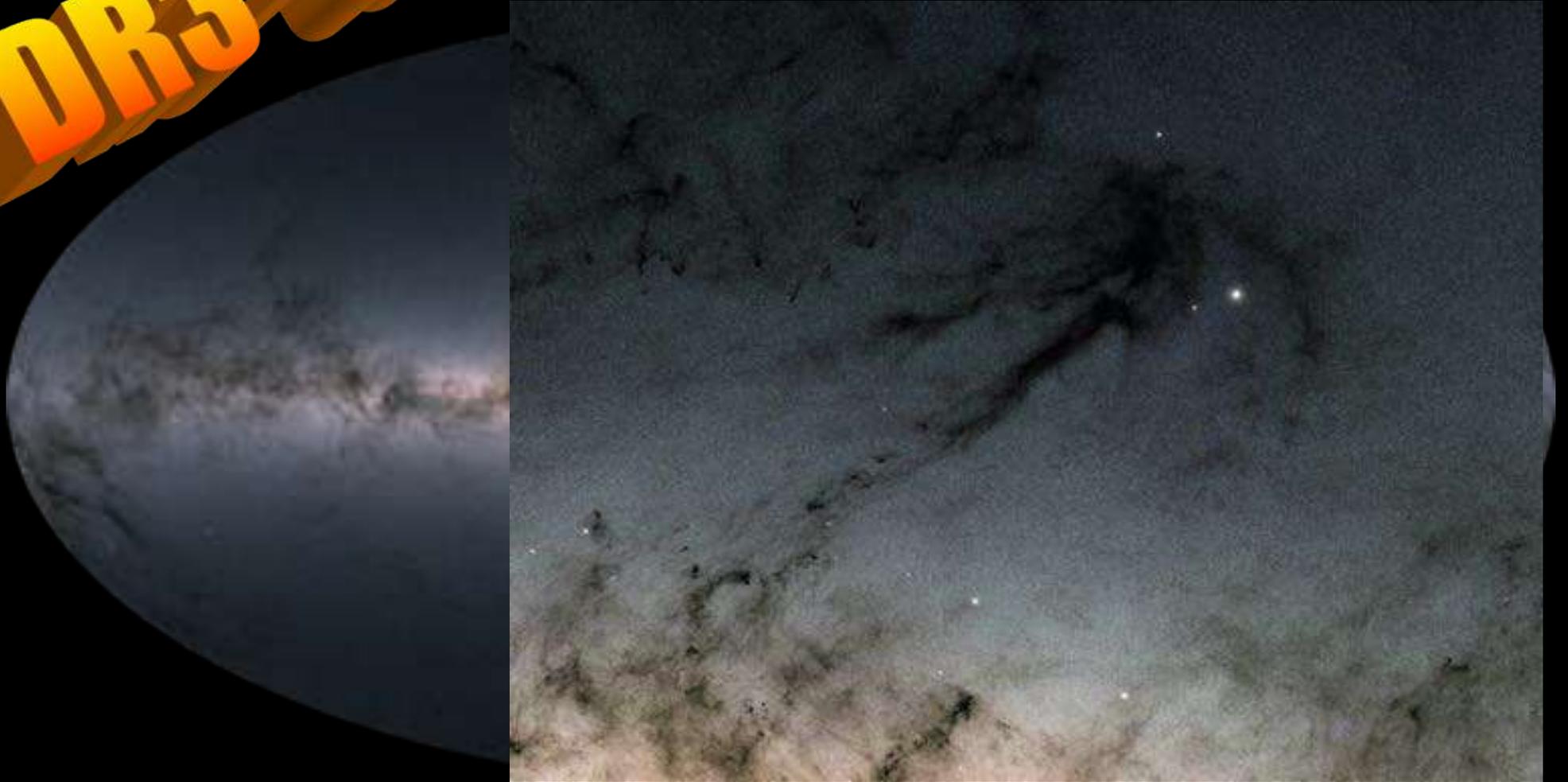


Razoável depois do Gaia

DR3 - estelar



DR3 - estelar

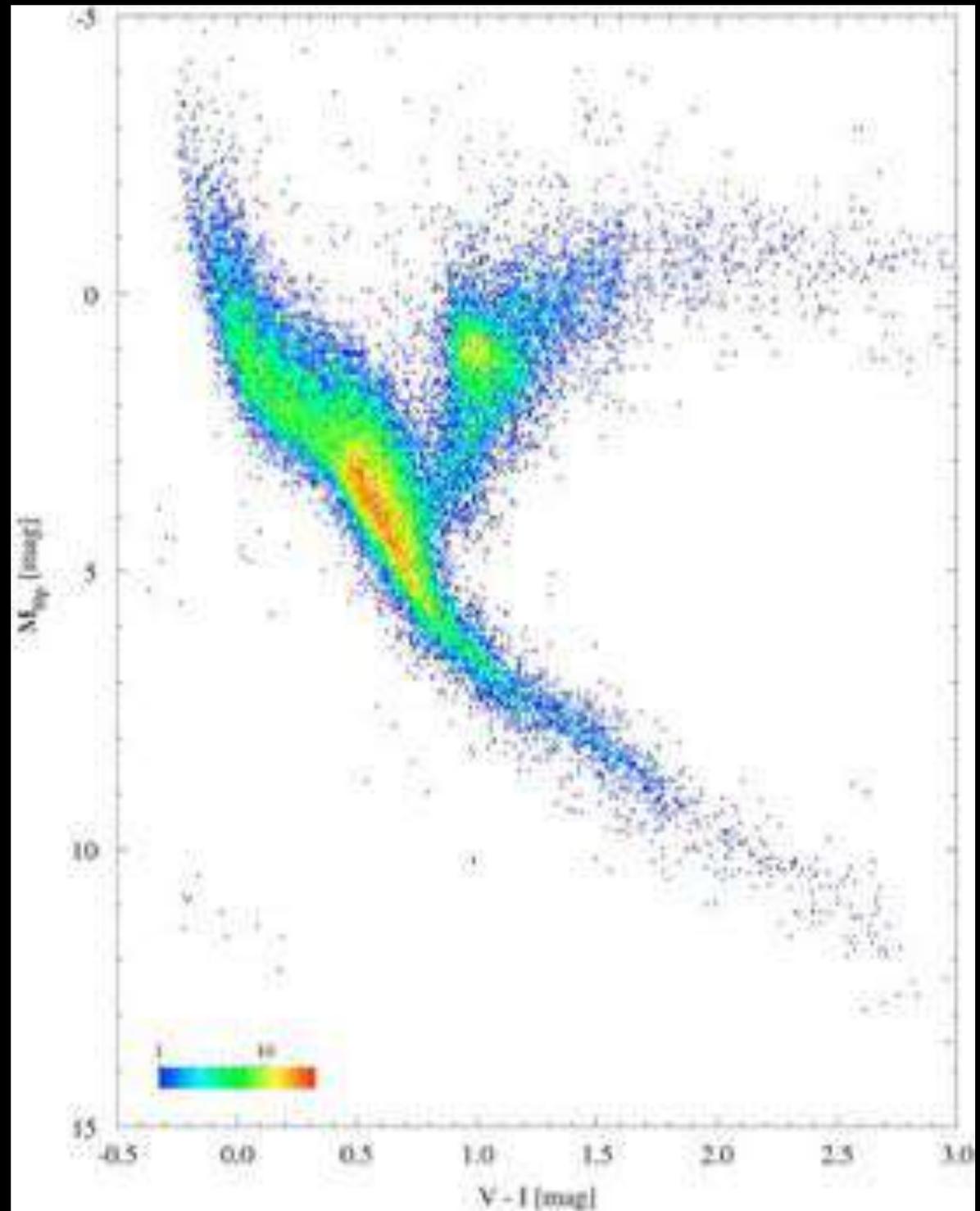


DR3 - estelar

**Diagrama
HR**

HIPPARCOS

40 mil estrelas

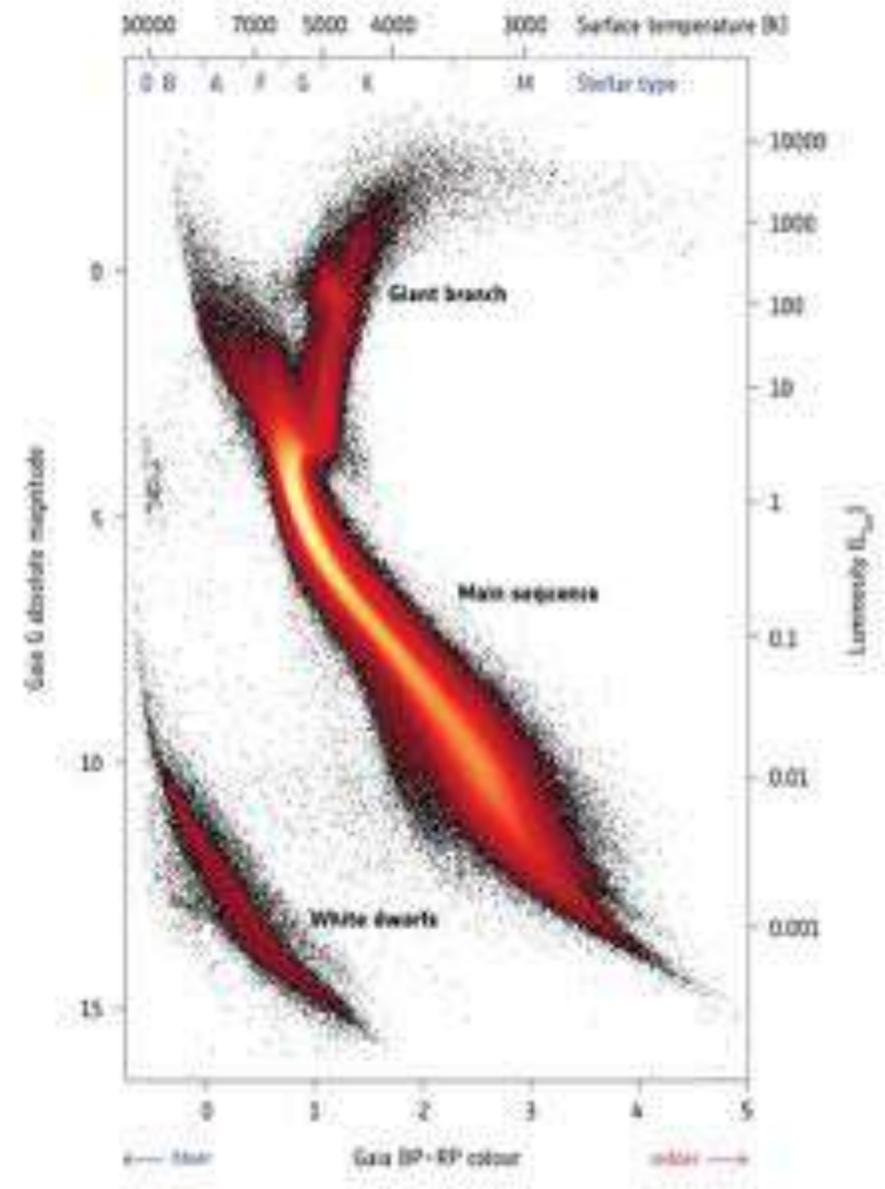


DR3 - estelar

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

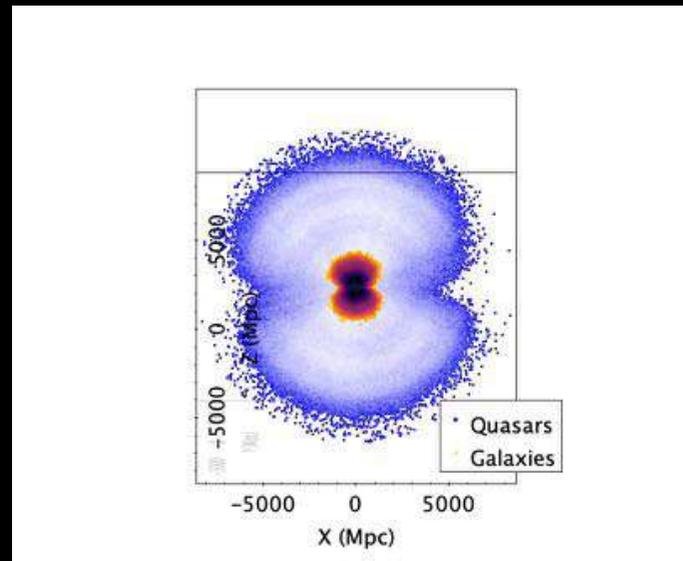
Sagittarius
Dwarf Galaxy

Milky Way

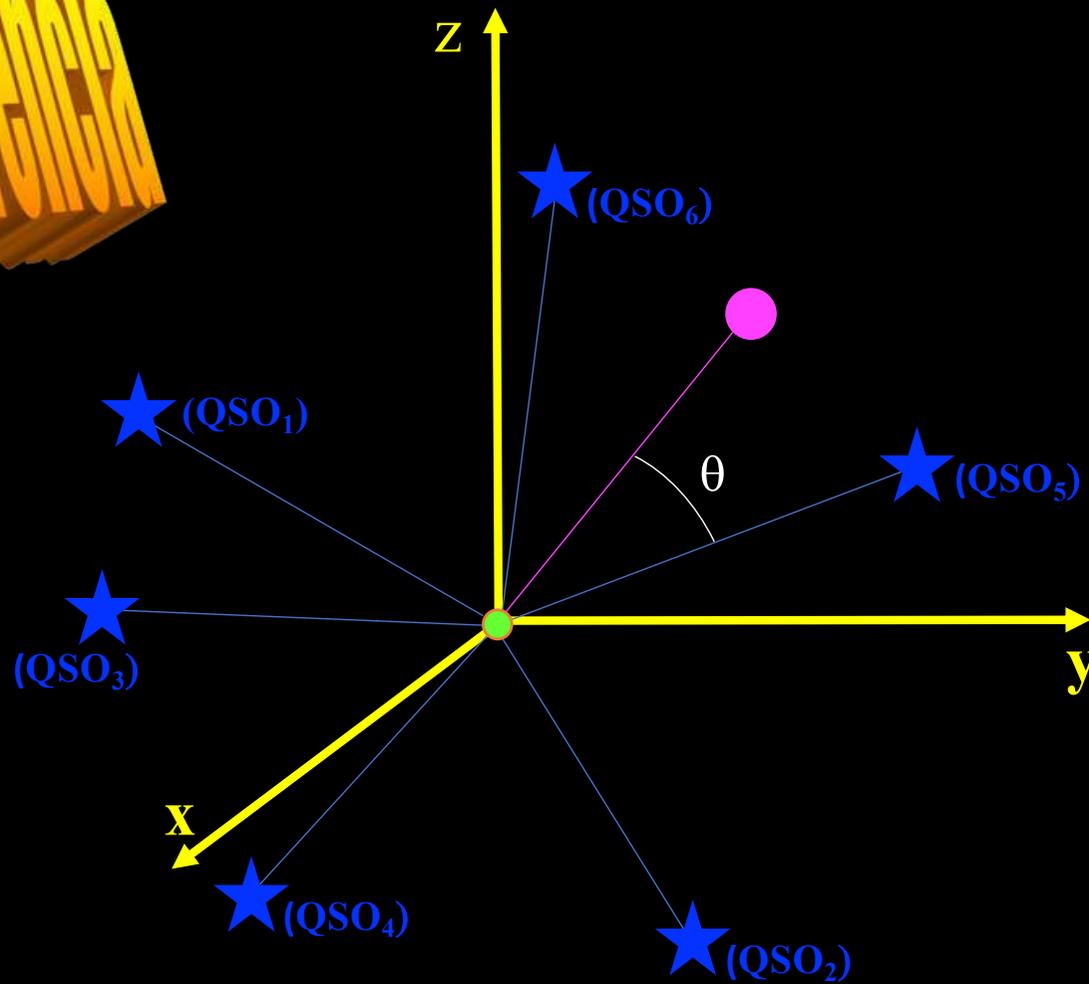
DR3 - Sistema Solar

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 DA RAJAJANNA



SISTEMA DE REFERÊNCIA

International Celestial Reference Frame

300 quasares

Gaia Celestial Reference Frame

1,6 milhão de “quasares”

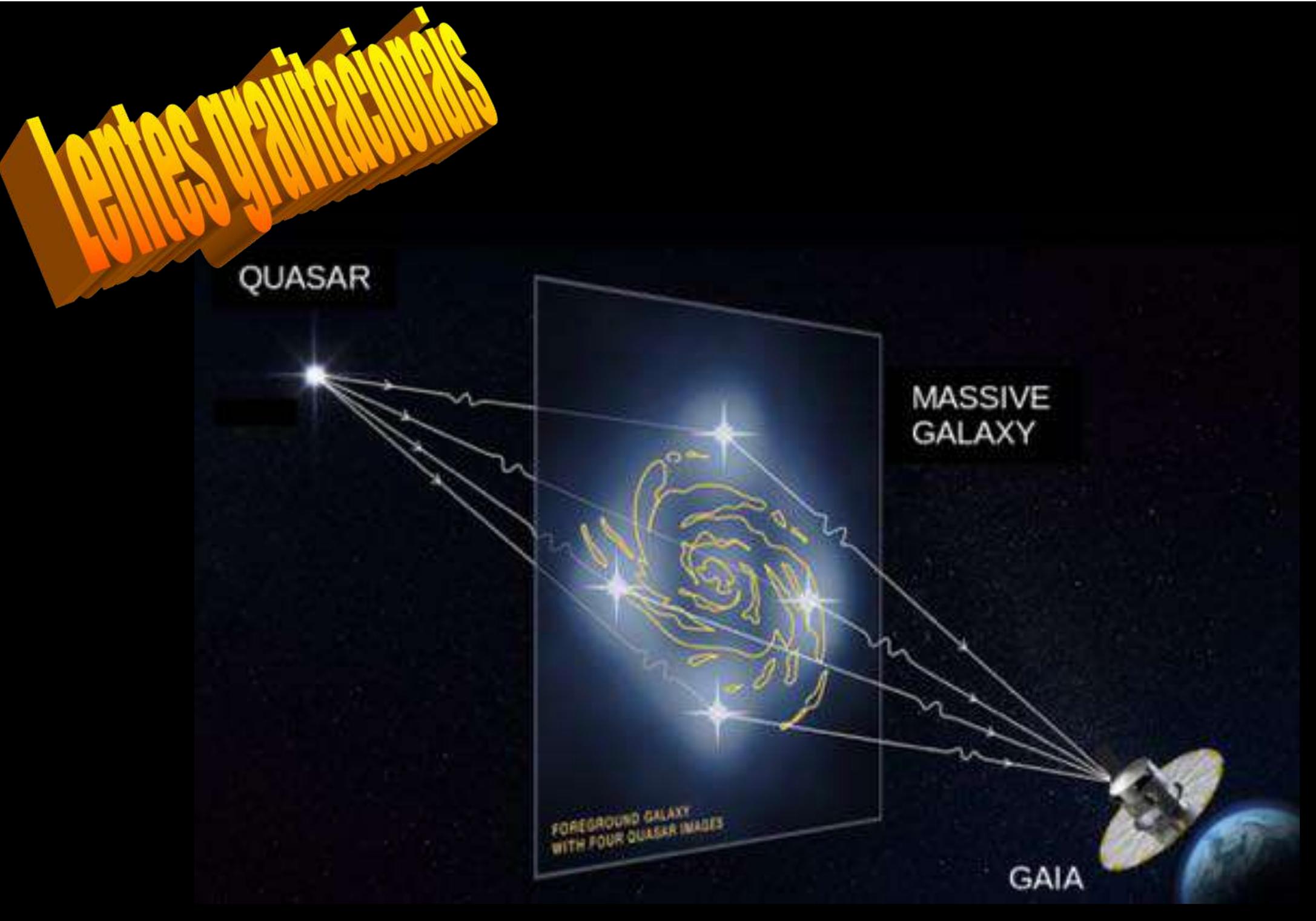
Lentes gravitacionais

QUASAR

MASSIVE GALAXY

FOREGROUND GALAXY WITH FOUR QUASAR IMAGES

GAIA

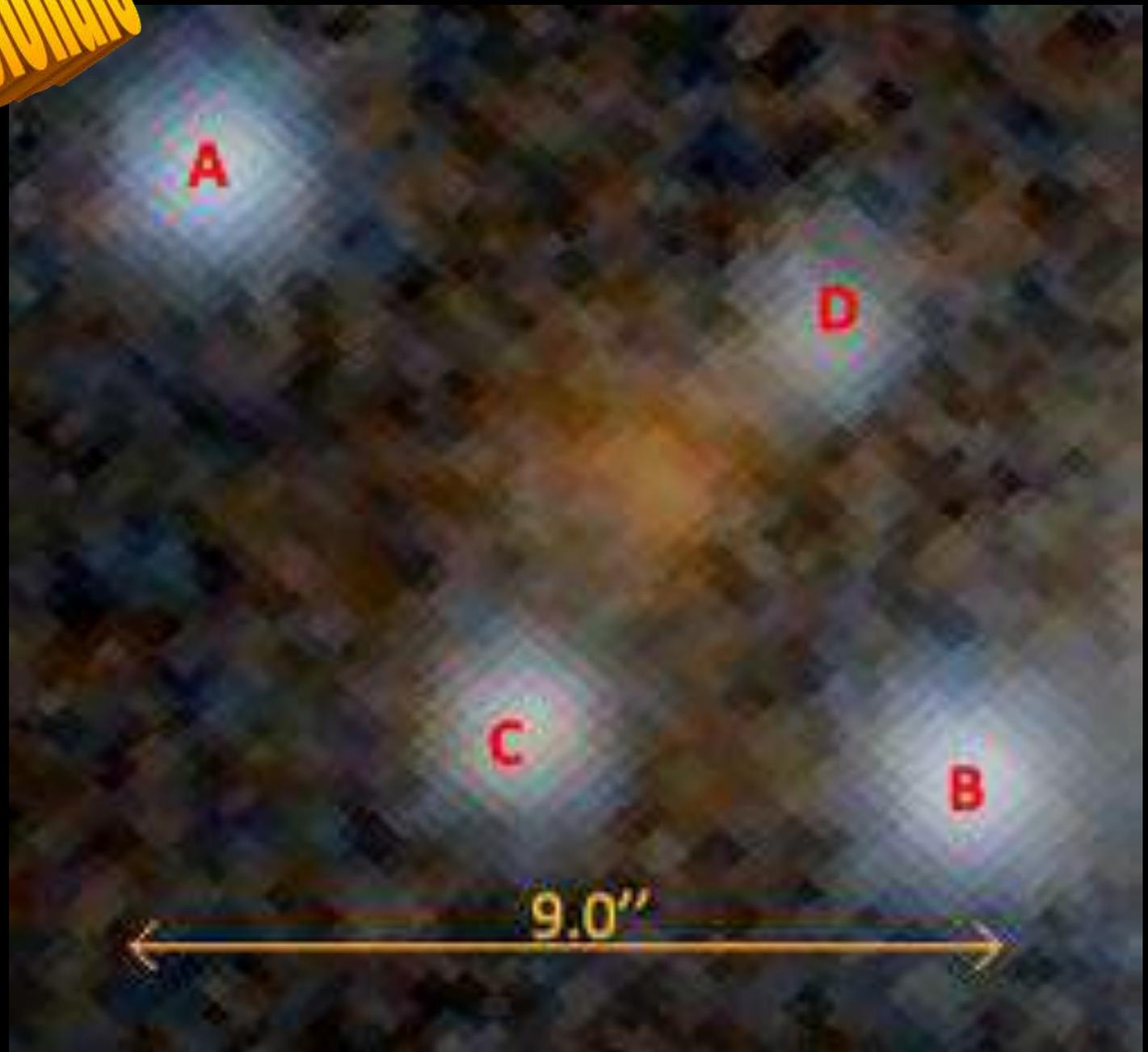


Lentes gravitacionais

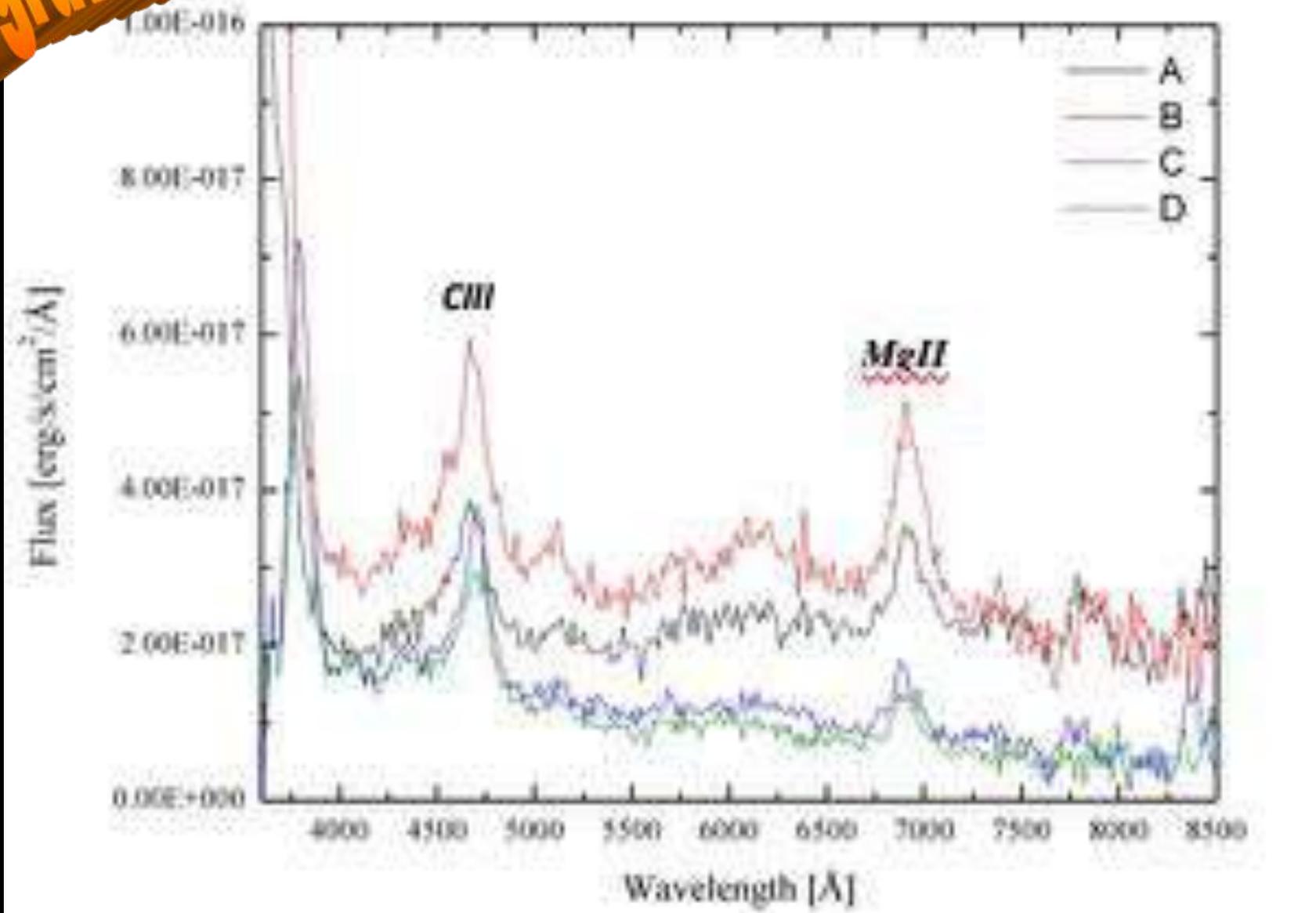
415 lentes confirmadas

97 pelo grupo Gaia GrAL

Lentes gravitacionais

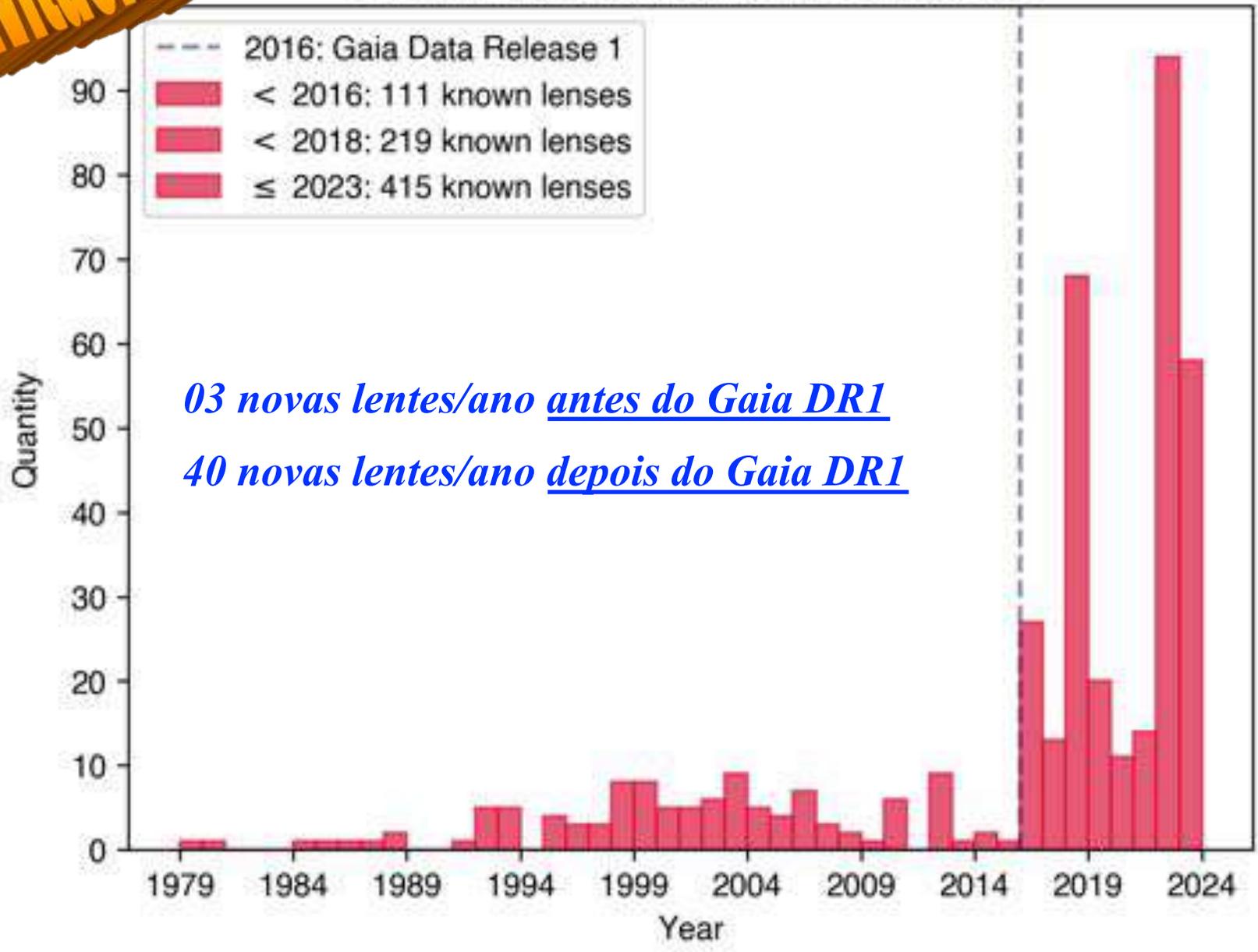


LINES IDENTIFICATION



Lentes gravitacionais

Confirmed gravitationally lensed quasars



03 novas lentes/ano antes do Gaia DR1

40 novas lentes/ano depois do Gaia DR1



00:13

**Abracos e
muito obrigado**



ESA/Gaia/DPAC

Lançamento – Dezembro/2013