



Cosmologia com python

Clécio Roque De Bom – debom@cbpf.br



clearnightsrthebest.com



Founded in 1949 (70 years in 2019)
Contributed to the creation of groups of
excellence and Research Institutes

Our mission

Research in physics and develop its
national center, preparing human
and technological development.

A **história do CBPF** está permeada de iniciativas, que estão na base
da criação de instituições que formam hoje a **espinha dorsal**
da **Ciência no Brasil**



LNCC



Graduate Program (CAPES 7)

in Physics (the most traditional
program of Physics in Brazil)
in **Scientific Instrumentation**



C. Lattes



J.L. Lopes



G. Beck



J. Tiomno

Innovation

Property Rights (IPR), Innovation and
Transfer Office - NIT-Rio/MCTIC

International Collaborations

HEP-Network (CERN, FERMILAB), CLAF, TWAS,
CNRS, CONACYT, NSF, DAAD, SFI
Projetos: Auger/SWGO, CTA

Mission of Research Institutes

- **Research**
Push forward the frontiers of knowledge
- **Innovation**
Develop new, cutting-edge technologies
- **Education**
Train scientists and engineers of tomorrow
- **Outreach**
Promote Science in Society



Experimental, Theoretical and Applied Physics

- **High Energy and Astroparticle Physics**
- **Condensed Matter & Materials**
- **Nanoscience and Nanotechnology**
- **Biophysics & Biomaterials**
- **Statistical Mechanics and Complex Systems**
- **Quantum information**
- **Cosmology and Gravitation**
- **Signal Processing and Computing for Science**
- **Scientific and Technological Instrumentation**

Laboratórios



LABNANO/SisNANO



Laboratório de Eletrônica



Laboratório de Superfícies e Nanoestruturas



Laboratório de Aplicação de Lasers

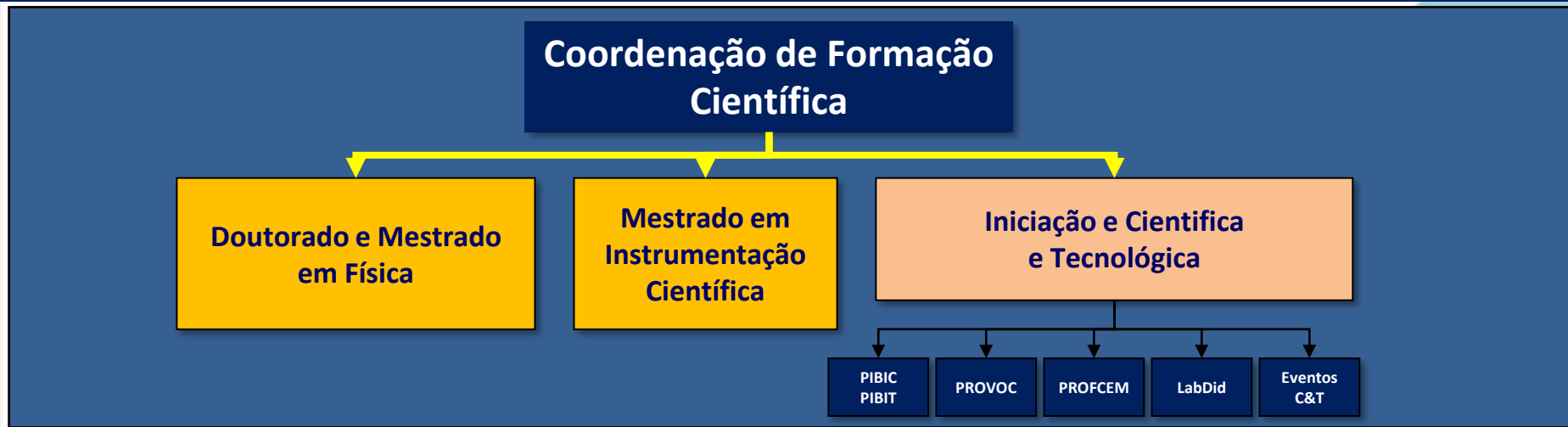


CBPF

MCTIC

Laboratórios





Programa de Desenvolvimento da Instrumentação Científica

- Público alvo: físicos e engenheiros
- Formação de recursos humanos para instrumentação científica e desenvolvimento tecnológico

O Programa de Pós-Graduação do CBPF completou, em 2012, seu 50º aniversário, um marco da história da Física no Brasil



(CBPF – programa de excelência)
CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior)

- Headquarters of the National High Energy Physics Network (RENAFAE)
- Headquarters of National Science and Technology Institute for Complex Systems and Quantum Information
- Headquarters of Rio de Janeiro Nanotechnology Network (LABNANO/CBPF is the main facility)
Strategic Lab under SisNANO network

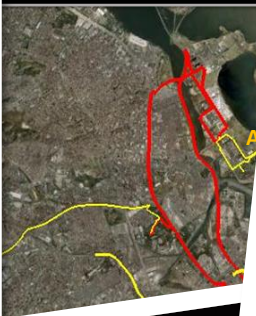
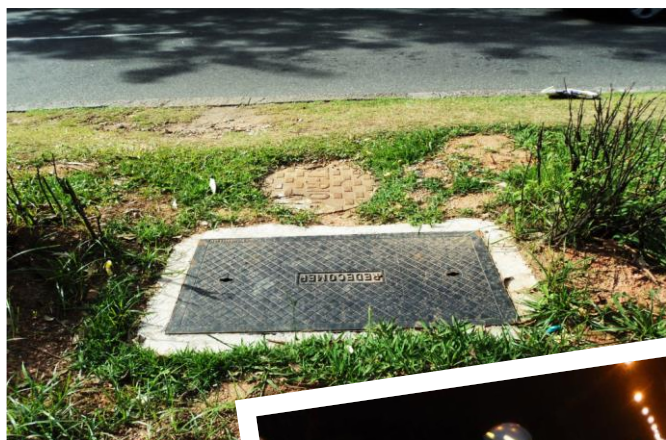


WLCG
Worldwide LHC Computing Grid
Science DMZ

LHC
Open Network
Environment
(Tier1s - Tier2s)



CBPF is the technical and operational segment of the Rio de Janeiro NREN (Advanced Research and Educ. Network) - support for 160 research, academic and governmental institutions.



Acadêmicos
34 Prefeitura
31 Metro
2 Supervia
Total: 167

≈ 400 Km de
Fibras Ópticas

CBPF & Industry

- NMR for Petrophysics;
- Quantitative Imaging techniques for characterization of high-resolution images in geological reservoirs;
- Rock plugs with controlled porosity
- Nanotechnology for O&G industry



- New materials and techniques for medical implants



- Magnetic Resonance at the micro and nanoscale



- Material Science, Nanotechnology and Magnetics Devices



- Cherenkov Telescope Array



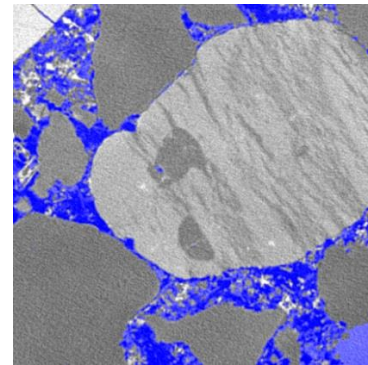
- Surface Science



Image/Signal: Emerging techniques

Exploring multimodal imaging protocols in association with powerful imaging processing techniques

- **X rays quantitative imaging**
 - Dual Energy / Multispectral μ CT
 - Synchrotron based techniques
- **Signal and image processing**
 - Advanced approaches for enhancement and segmentation
 - Machine learning / Deep Learning
- **Complexity and statistical physics**
 - Porous media characterization through information theory and fractal geometry



Characterization of Borehole Profile

Clustering and facies
classification
texture segmentation

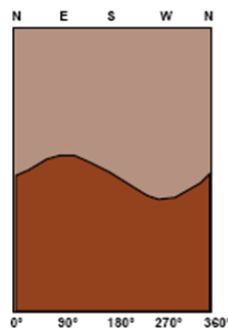
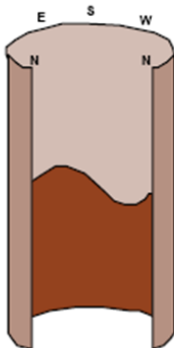
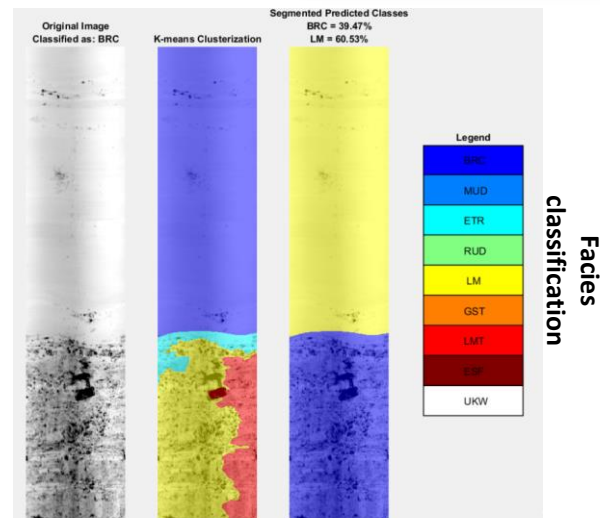
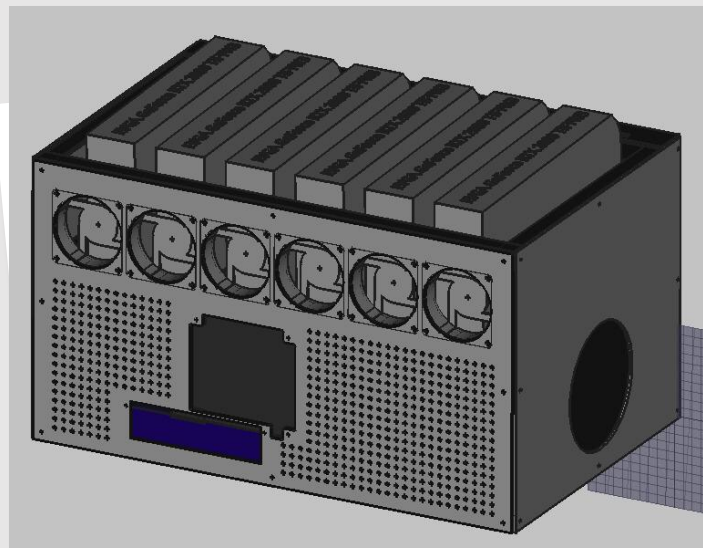


Image viewed inside out



Laboratório Avançado de Redes e Sistemas (LARS) – CBPF/MCTIC



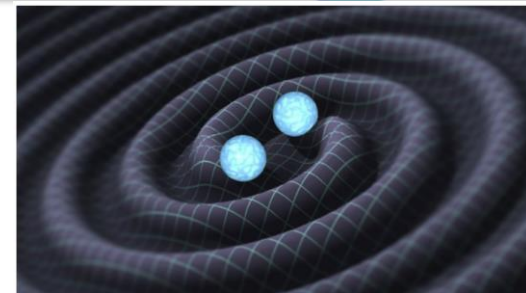
NVIDIA.
GPU Computing

42x RTX 2080Ti
6x 1080Ti
7x 1050Ti

- 32 CPU cores, 128 GB RAM (expansível até 1TB),
- 26112 CUDA cores, 84 Teraflops , 66GB VRAM,
- 4xWaterCoolers - completo silêncio,
- 1632 Tmus unidades de texturas e 528 ROps unidades para renderização,
- 4TB HD/backup Enterprise e 500 GB SSD/OS, 2 fontes 1600W

Cosmology and Relativity

- Astrophysical and cosmological applications of Strong Gravitational lensing.
- Gravitational Waves theory
- High Energy Astrophysics theory
- Black Holes theory
- Search & modelling of Strong Lensing systems with Deep Learning



CALTECH / LIGO

Cosmology:

- Big Data Astronomical Image Processing and Wide-field Surveys
- Deep Learning Assessment of data in wide field surveys: Galaxy Morphology, Photometric redshifts
- Transients Detection and Classification
- Search for counterparts of Gravitational Waves
- Cosmology with Gravitational Waves
- Gravitational Lensing: weak lensing and galaxy clusters.
- Quantum Cosmology: bouncing models; primordial cosmology;
- Quantum Foundations: Bohm-de Broglie interpretation of quantum mechanics



Credit: ESA/HST/NASA
, A. Newman, M. Akhshik, K. Whitaker

Programa

- 1  1) Um panorama do Universo Observável
- 2  2) O Universo homogêneo e suas evidências Observacionais
- 3  3) Geometria do Universo e seus constituintes usando astropy
- 4  4) Introdução à inferência Bayesiana e MCMC em python
- 5  5) Obtendo distâncias e velas padrão
- 6  6) Breve Introdução aos testes Observacionais em Cosmologia: LSS, CMB, SNIA e outros.
- 7  7) Obtendo parâmetros cosmológicos com python, bibliotecas para inferência de parâmetros cosmológicos, combinando diferentes experimentos.
- 8  8) Problemas em aberto da Cosmologia Observacional



Informações Gerais

Ferramentas recomendadas para tarefas:

Python (anaconda) 3.X

Jupyter

Pandas

Scipy / astropy / astroML

Google Colab

Nossos Objetivos:

Panorama da Cosmologia, começando do básico.

Fundamentar nossos argumentos em observações (Fenomenologia).

Utilizar ferramentas computacionais.

Dar subsídios para que os estudantes se aprofundem em cursos de maior duração.

O que é Cosmologia?

A cosmologia é o ramo da astronomia? que estuda a estrutura e a evolução do universo em seu todo, preocupando-se tanto com a origem quanto com a evolução dele.

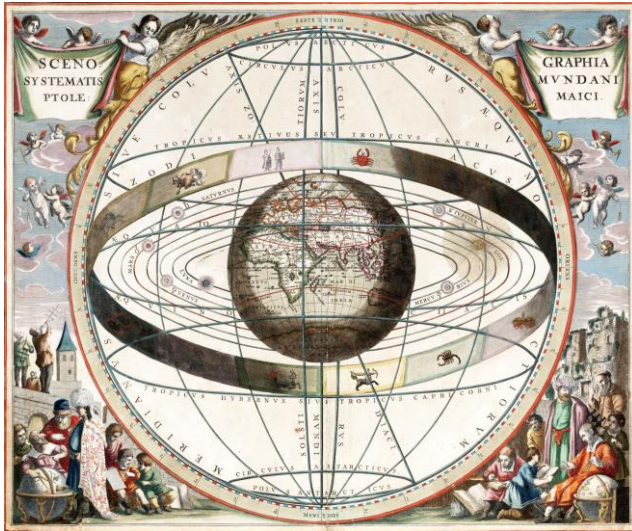
Em astronomia, cosmologia (do grego κοσμολογία, κόσμος="cosmos"/"ordem"/"mundo" + -λογία="discurso"/"estudo") é o ramo que estuda a origem, a estrutura e a evolução do Universo a partir da aplicação de métodos científicos.

Cosmologia é um ramo da Física? É o estudo da totalidade?

O que é Cosmologia?



A busca por ordem do todo se confunde com as cosmogonias e as primeiras tentativas de racionalizar Universo.



Como fazer um discurso científico do todo?

No caso do Universo, não podemos observa-lo como um todo.

Teorias científicas são sistemáticas e simplificadoras

Assim como na Astronomia, não podemos levar o Universo para o laboratório.

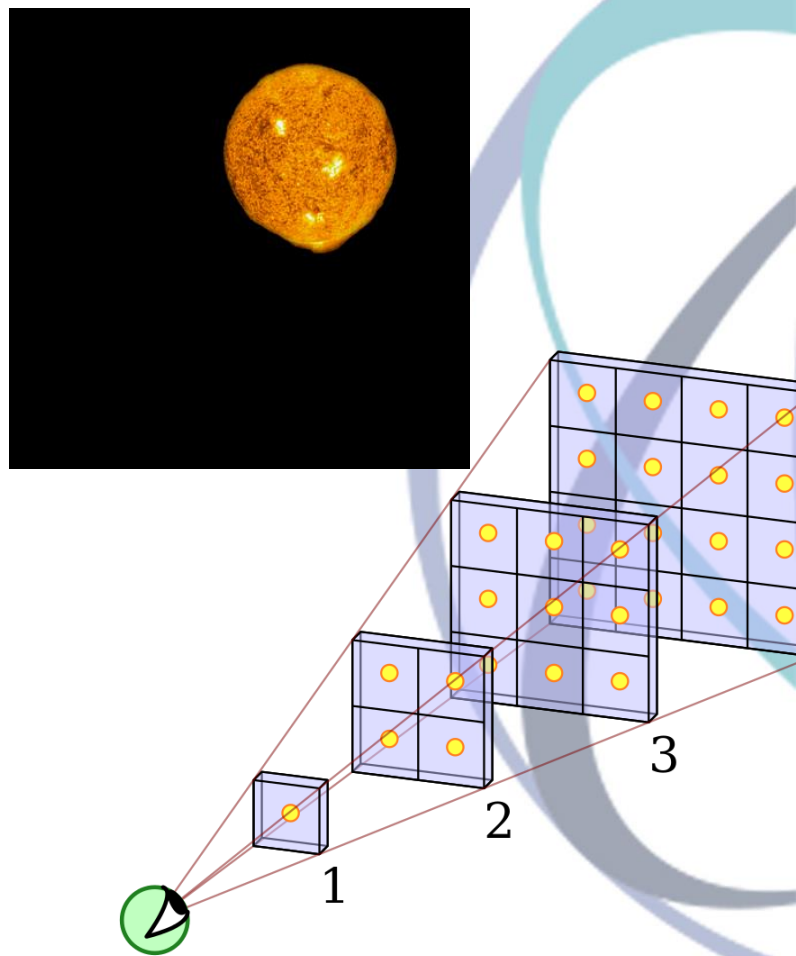
Observações fundamentais

Paradoxo de Olbers. Porque a noite é escura?

Universo Infinito

Universo estático e sem evolução (Eterno)

No céu noturno povoado de estrelas de mesmo de brilho, por simplicidade, a contribuição de brilho médio pelas estrelas a uma distância r qualquer apareceria ser a mesma, uma vez que a quantidade de estrelas, que cresce como a área, r^2 , iria compensar a queda no brilho aparente que diminui com o inverso da distância ao quadrado $1/r^2$



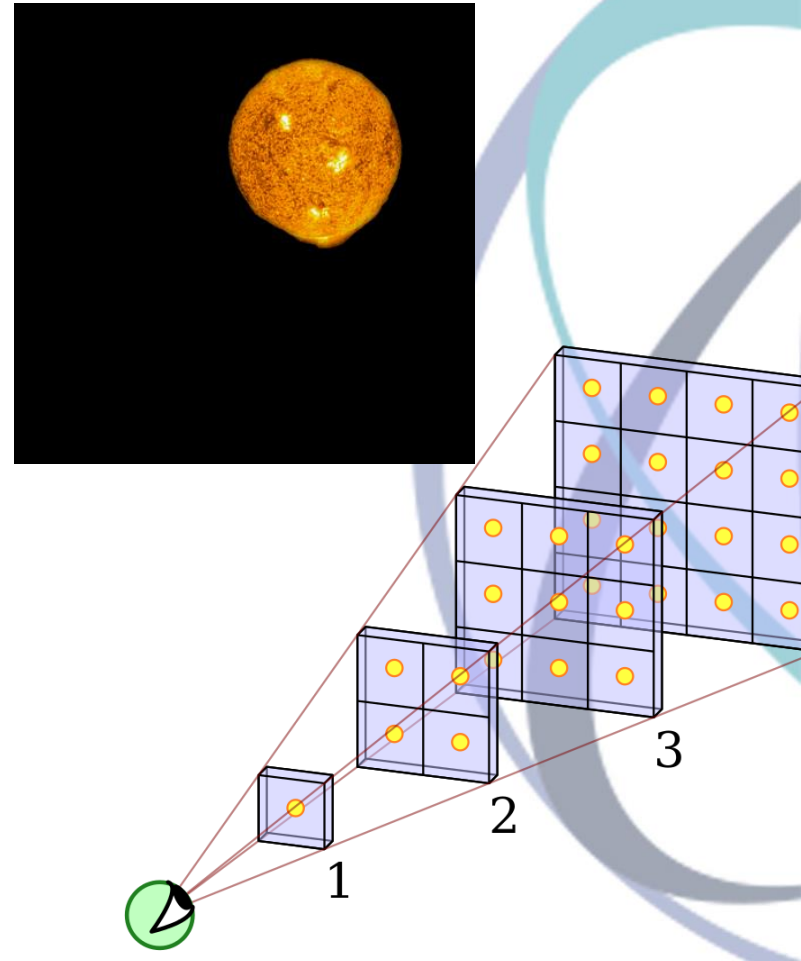
Observações fundamentais

Paradoxo de Olbers. Porque a noite é escura?

Universo Infinito

Universo estático e sem evolução (Eterno)

1. Poeira interestelar?
2. Recessão das galáxias?
3. Universo não é estático, não existiu pra sempre (ou ao menos as estrelas não)

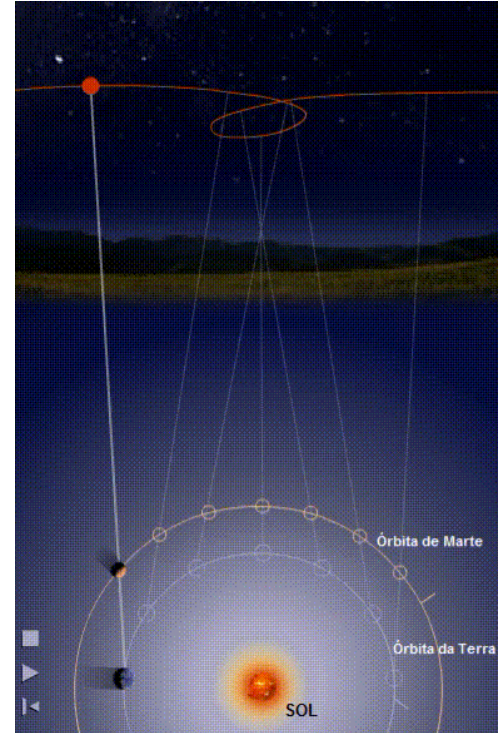
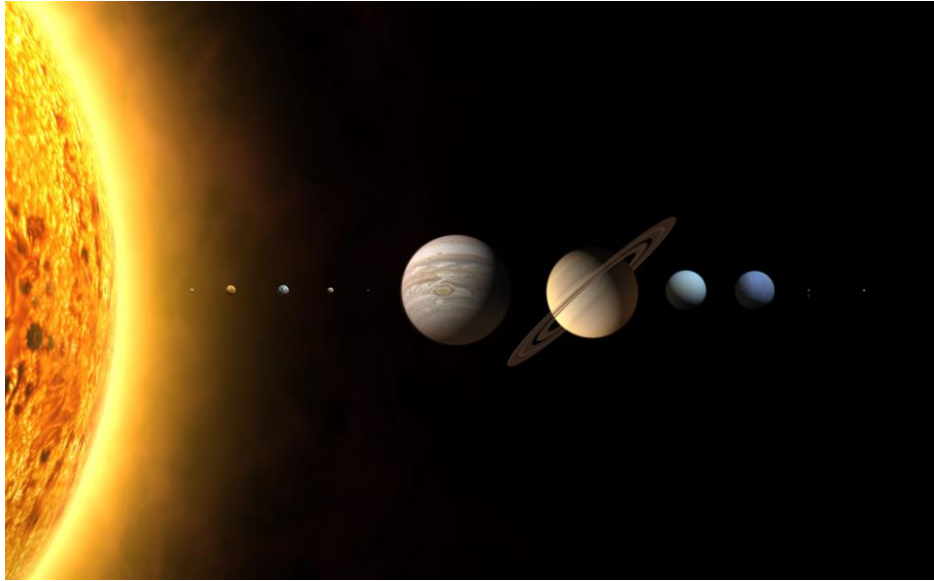


Nosso lugar no Universo

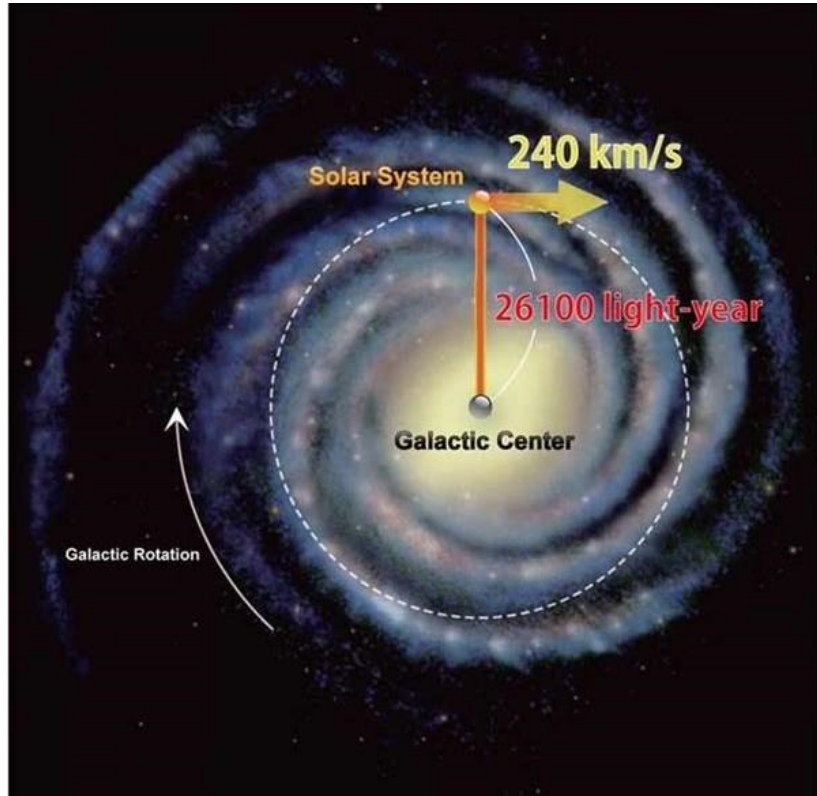


Nosso lugar no Universo

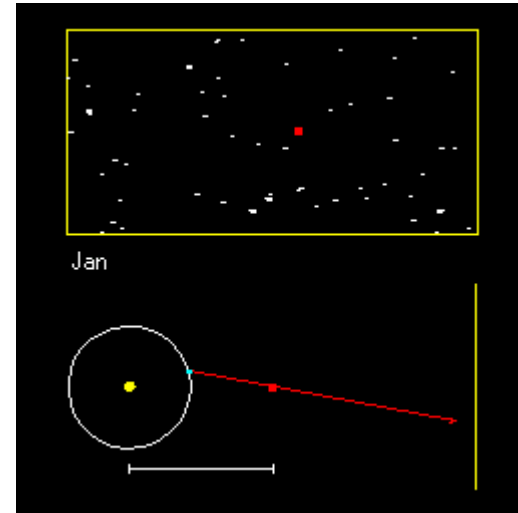
1 U.A. $\sim$ 8 min-luz



Nosso lugar no Universo



1 PC $\sim$ 3.26 anos-luz ou 206.000 U.A.
1 segundo de arco de paralaxe



Próxima Centauri $\sim$ 1.3 parsecs (4.2 anos-luz) do Sol

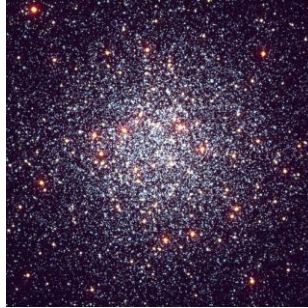
Universos-ilha?



M33



M31



M55



Fornax dSph



Immanuel kant

Algo além da nossa galáxia?

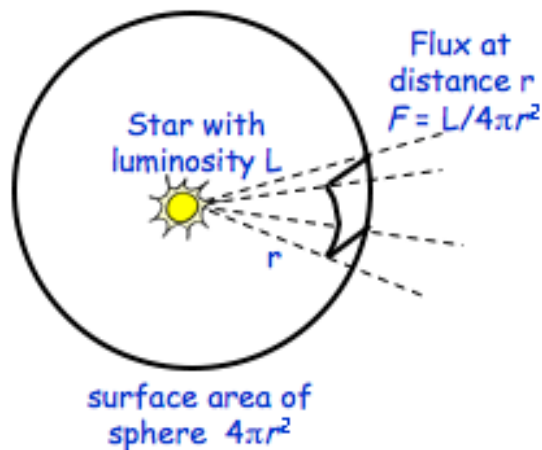
$$F(R) = \frac{L}{4\pi R^2}$$

$$m_x = -2,5 \log_{10} \left(\frac{F_x}{F_{x,0}} \right)$$

Absolute Magnitude: Magnitude if the object is at 10 pc

$$\frac{F_{10}}{F} = \left(\frac{d}{10 \text{ pc}} \right)^2,$$

$$M = m - 5 \log_{10}(d_{\text{pc}}) + 5 = m - 5 (\log_{10} d_{\text{pc}} - 1)$$



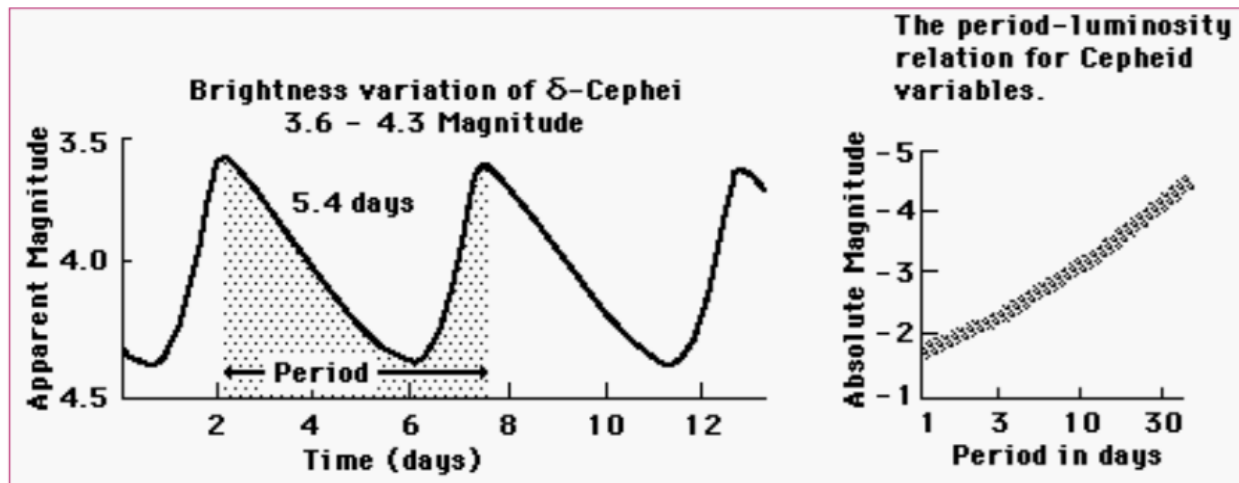
Algo além da nossa galáxia?

$$F(R) = \frac{L}{4\pi R^2} \quad m_x = -2,5 \log_{10} \left(\frac{F_x}{F_{x,0}} \right)$$

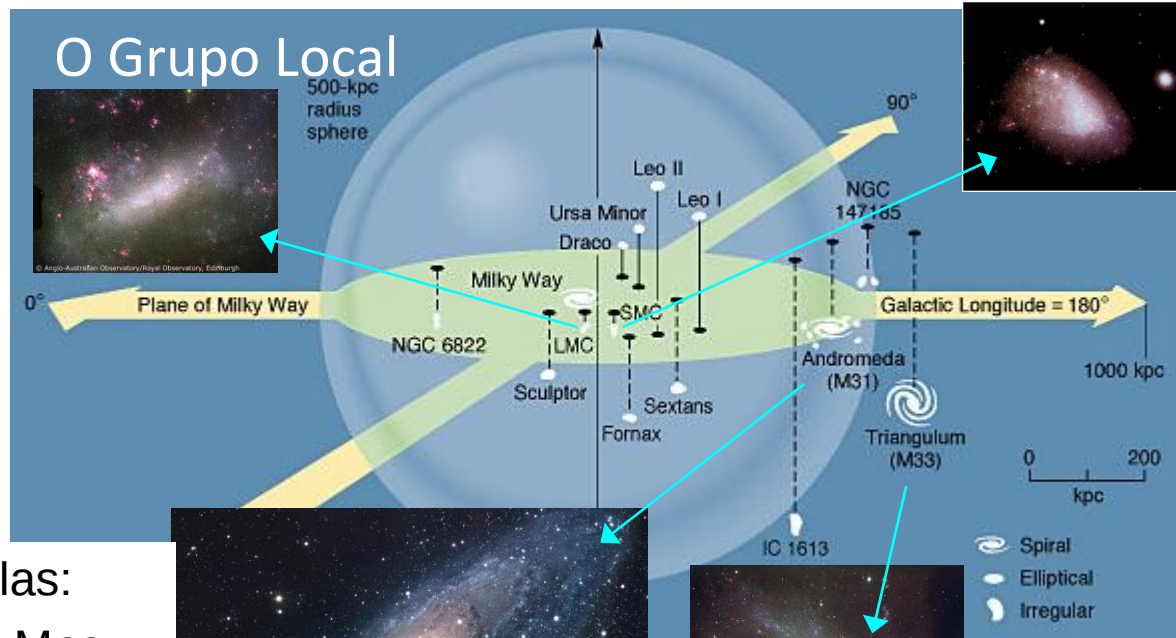
$$M = m - 5 \log_{10}(d_{\text{pc}}) + 5 = m - 5 (\log_{10} d_{\text{pc}} - 1)$$

Henrietta Leavitt (1912): relação entre período de estrelas variáveis cefeidas e sua luminosidade intrínseca

- Edwin Hubble (1923): determina a distância da “nebulosa” de Andrômeda (M31), usando uma estrela cefeida



O Grupo Local



Escalas:

$L \sim 1 \text{ Mpc}$

$M \sim 10^{13} M_{\odot}$

$N_{\text{gal}} \sim 10$

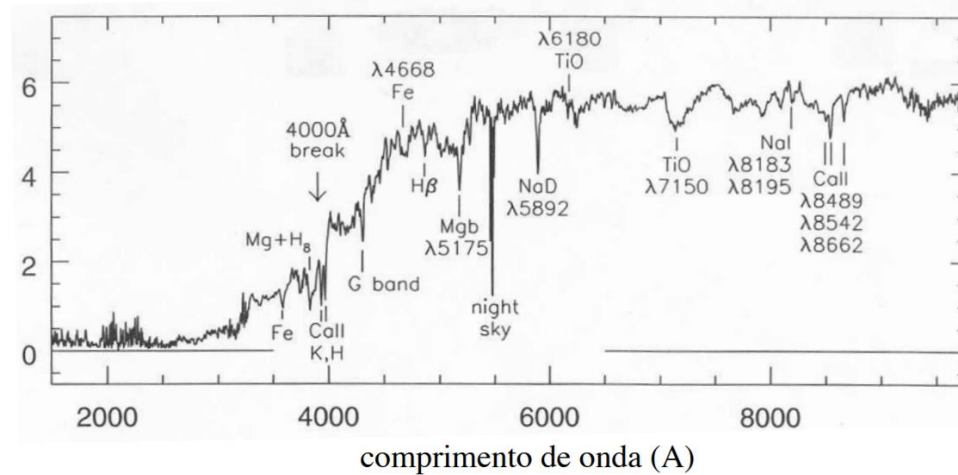


Tamanhos fora de escala

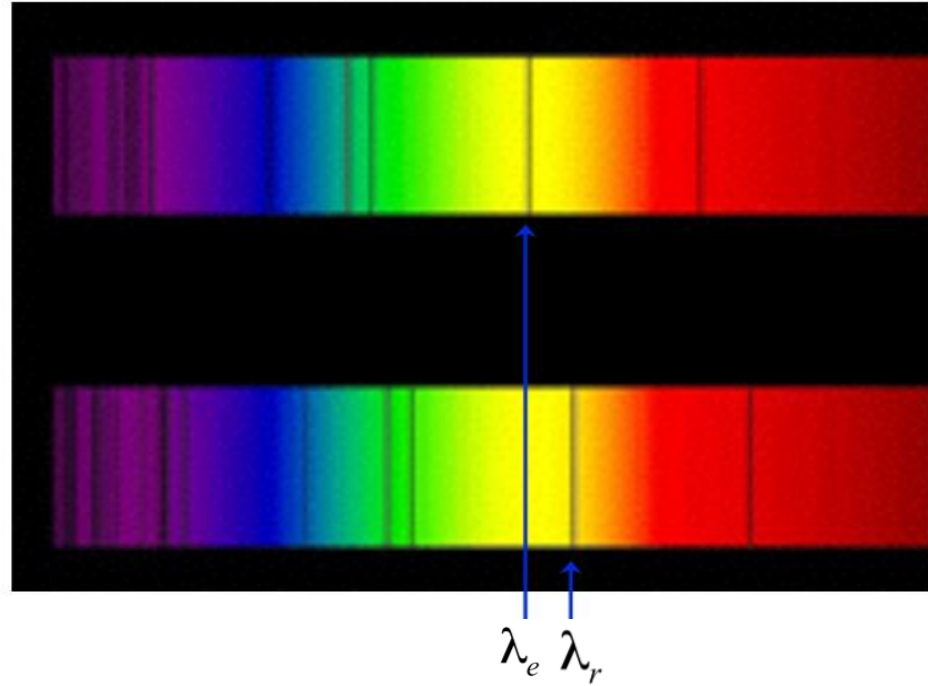
Além do Universo local?



*"As estrelas só estão acessíveis a nós por exploração visual à distância. ... Nunca poderemos por qualquer meio estudar sua **composição química** ... Considero qualquer noção a respeito da verdadeira temperatura média de várias estrelas como para sempre negadas a nós". – **Augusto Comte**, Curso de Filosofia Positiva, 1835.*



Além do Universo local?



$$z = \frac{\lambda_r - \lambda_e}{\lambda_e}$$

Além do Universo local?

$$z = \frac{\lambda_r - \lambda_e}{\lambda_e}$$

$$z := \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} - 1 \approx v/c, \text{ para } v \ll c$$

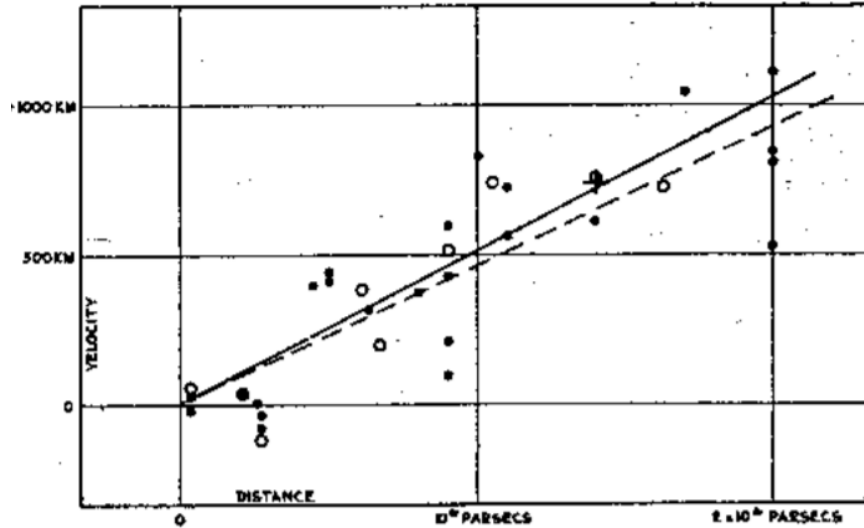


FIGURE 1

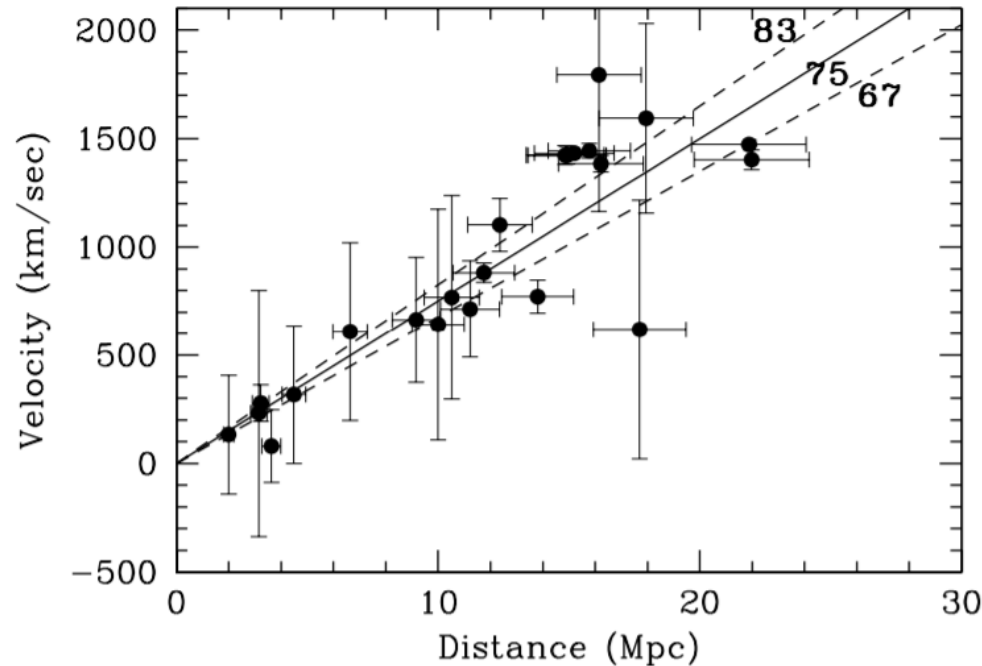
Expansão do Universo

$$z = \frac{\lambda_r - \lambda_e}{\lambda_e}$$

$$z := \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} - 1 \approx v/c, \text{ para } v \ll c$$

Diagrama de Hubble
para Cefeidas

10.1086/320638



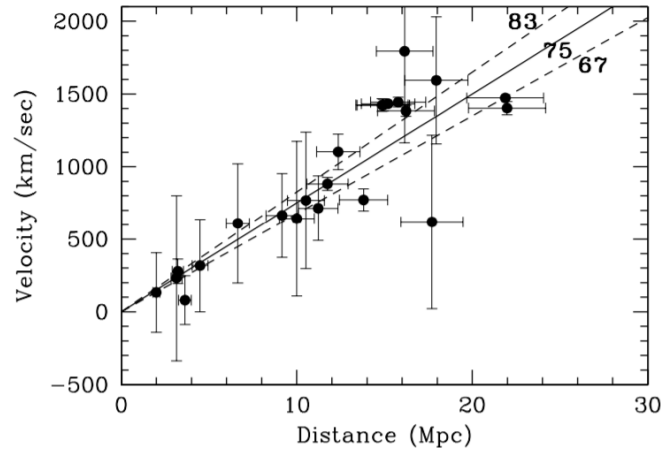
Expansão do Universo

Lei de Hubble

$$v = H_0 d$$

$$z = \frac{H_0}{c} r$$

$$H_0 = 100h \text{ Km} / \text{s} / \text{Mpc}$$



10.1086/320638



Exercício em python: Calcule o valor do parâmetro de hubble no Universo Local

Três datasets: `hubble_original`, `hubble_lowz` e `hubble`.

Usar `scipy`, `pandas` e outros. Para:

Obter o valor da constante de hubble.

Há divergência entre os valores?

Adicione ruído gaussiano. Qual é o limite no qual é possível obter H_0 ?

Existe divergência de `high_z` e `low_z` ?

O quanto o resultado depende do método?

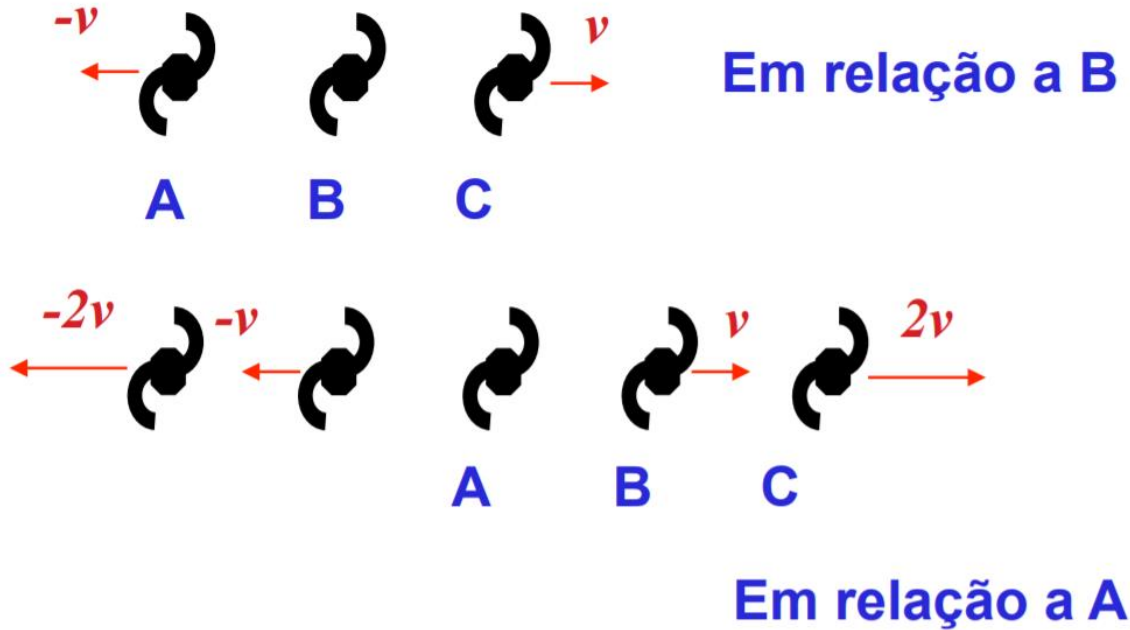
É melhor um fit de $y=ax$ ou $y=ax+b$?

Atenção as unidades!

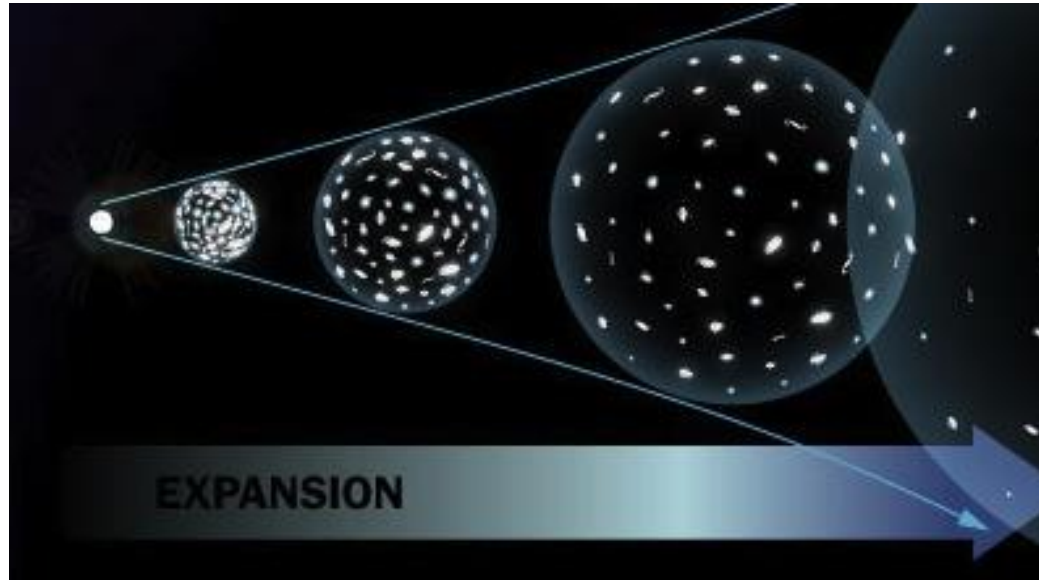
```
# Galaxy distances versus recession velocities
# Source:
#   A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae
#   Edwin Hubble
#   PNAS March 15, 1929 15 (3) 168-173; https://doi.org/10.1073/pnas.15.3.168
#   Communicated January 17, 1929
#   http://www.pnas.org/content/15/3/168
# column names = Object Name, Distance [Mpc], Velocity [Km/second]
# Notes on units: 1 parsec = 3.26 light years, 1 Mpc = megaparsec = 10 parsecs.
# source: https://github.com/scarnyc/Revisiting-Hubbles-Law-with-OLS-and-Hacker-Stats
names,distances,velocities
SMC,0.032,170
LMC,0.034,290
NGC-221,0.275,-185
NGC-224,0.275,-220
NGC-598,0.263,-70
NGC-1055,1.1,450
NGC-1068,1.0,920
NGC-3031,0.9,-30
NGC-3627,0.9,650
NGC-4151,1.7,960
NGC-4214,0.8,300
NGC-4258,1.4,500
NGC-4382,2.0,500
NGC-4449,0.63,200
NGC-4472,2.0,850
NGC-4486,2.0,800
NGC-4649,2.0,1090
NGC-4736,0.5,290
NGC-4826,0.9,150
NGC-5194,0.5,270
NGC-5236,0.9,500
NGC-5357,0.45,200
NGC-6822,0.214,-130
NGC-7331,1.1,500
```

Como é essa expansão?

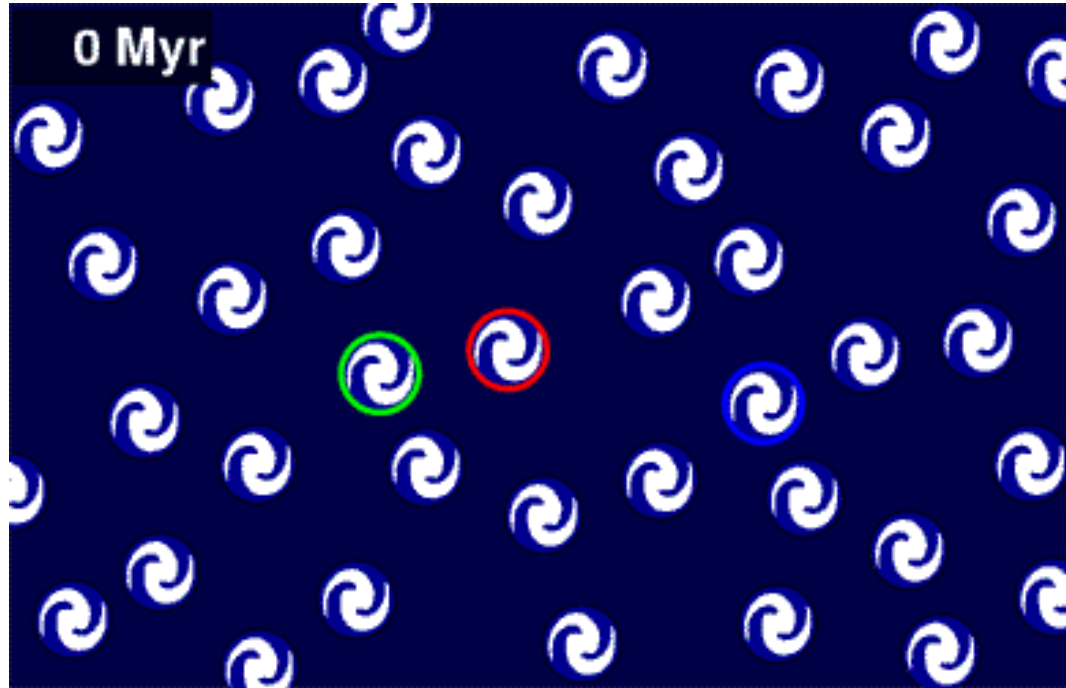
Equívoco número um: Se todos se afastam de mim, eu sou o centro do Universo?



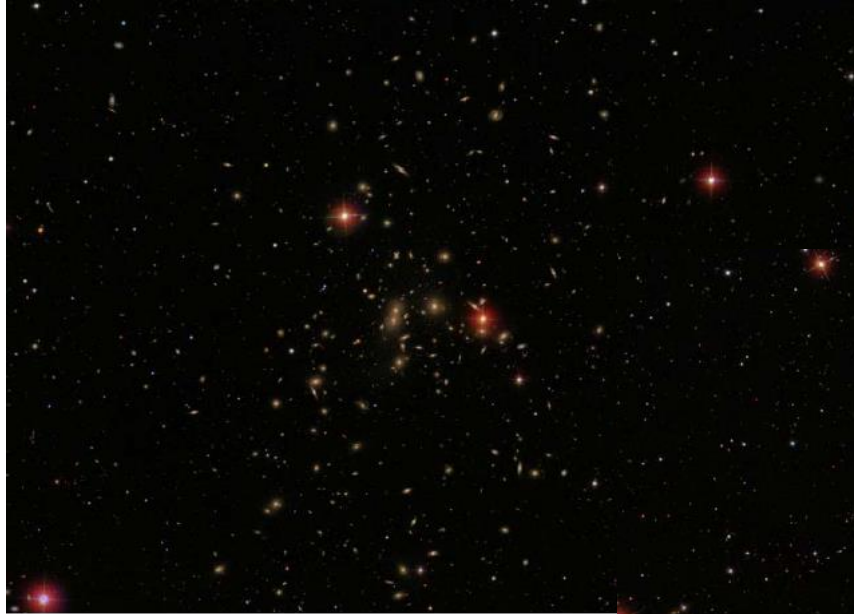
Como é essa expansão?



Como é essa expansão?



Observando Aglomerados

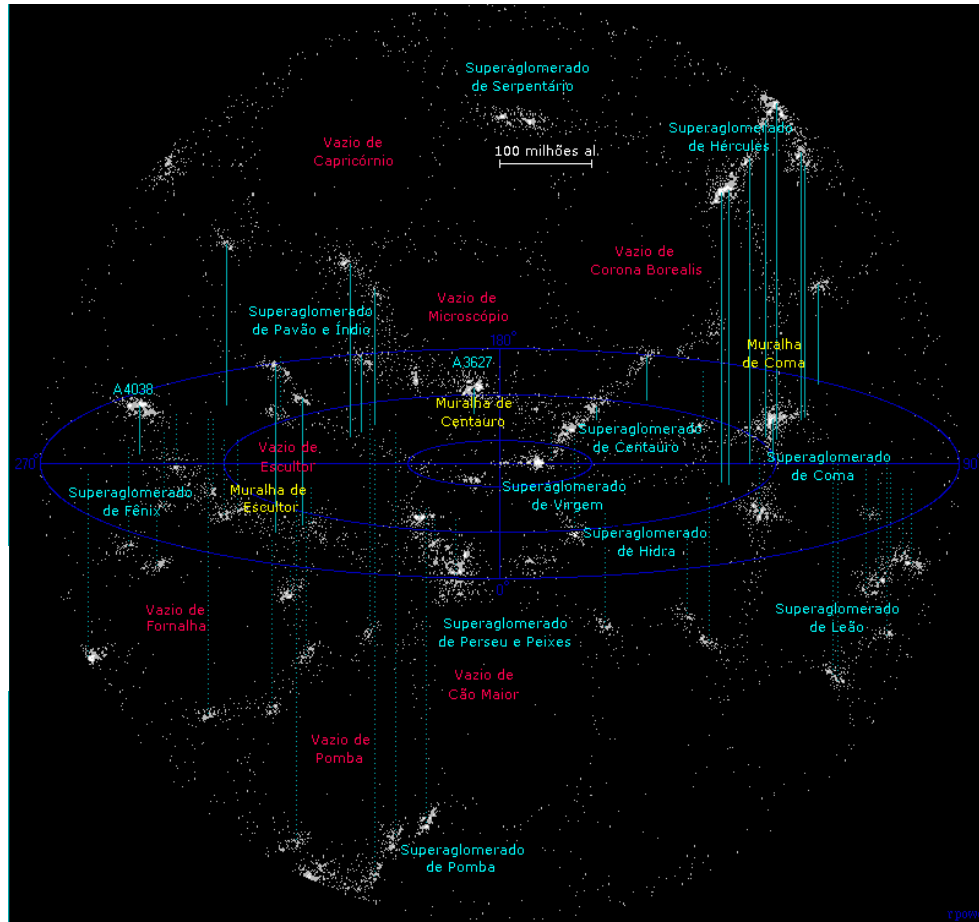


Aglomerado no SDSS

Região qualquer do céu



Superaglomerados

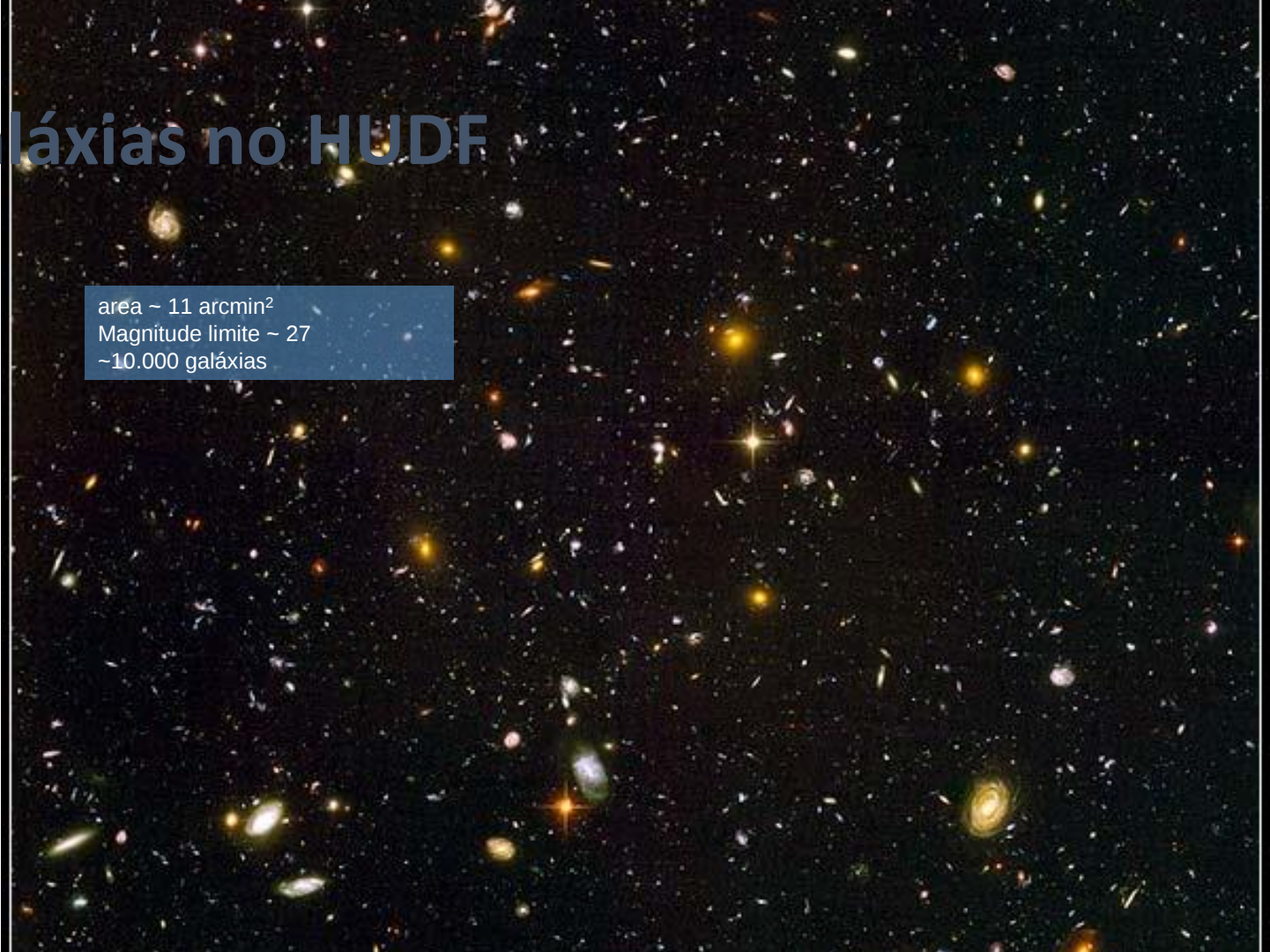


Escala:

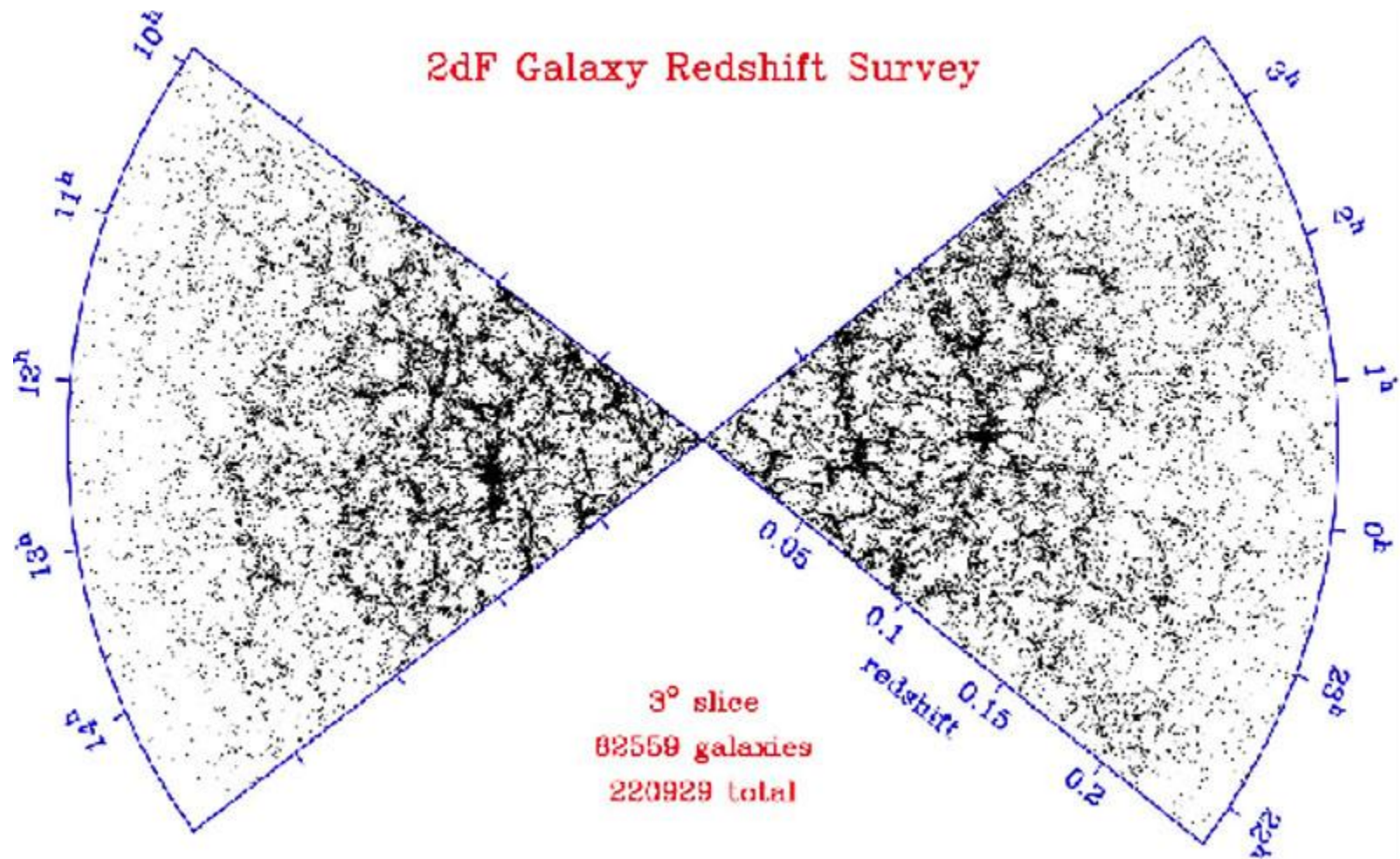
L ~ 1 Bilhão de anos-luz

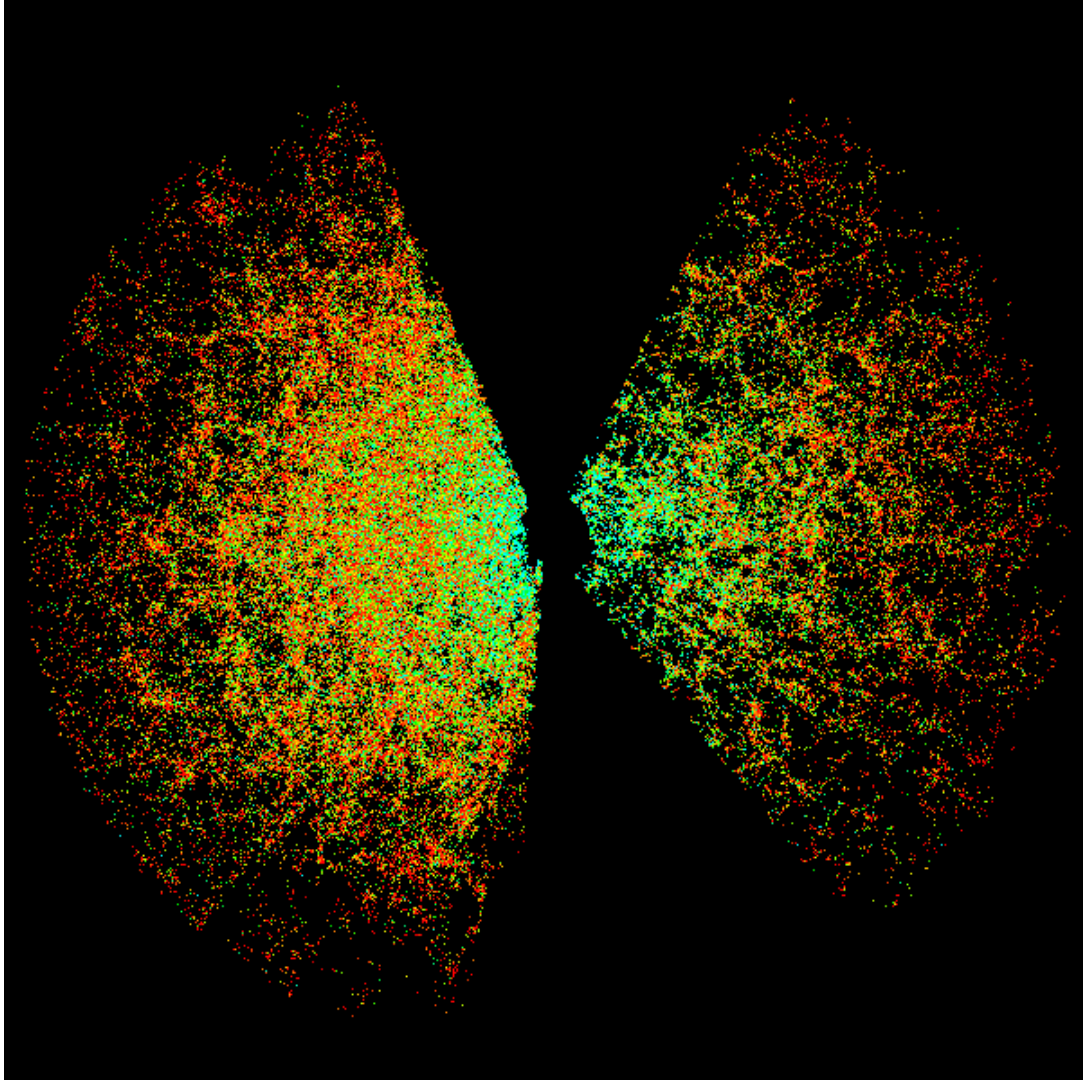
Galáxias no HUDF

area ~ 11 arcmin²
Magnitude limite ~ 27
~10.000 galáxias



2dF Galaxy Redshift Survey







Cosmologia com python

Clécio Roque De Bom – debom@cbpf.br



clearnightsrthebest.com

