

# O Universo no meu bolso

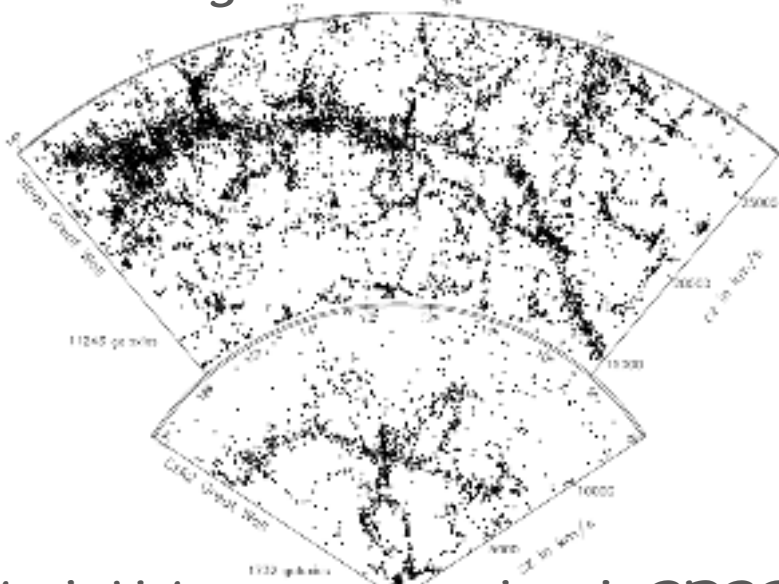


## A teia cósmica

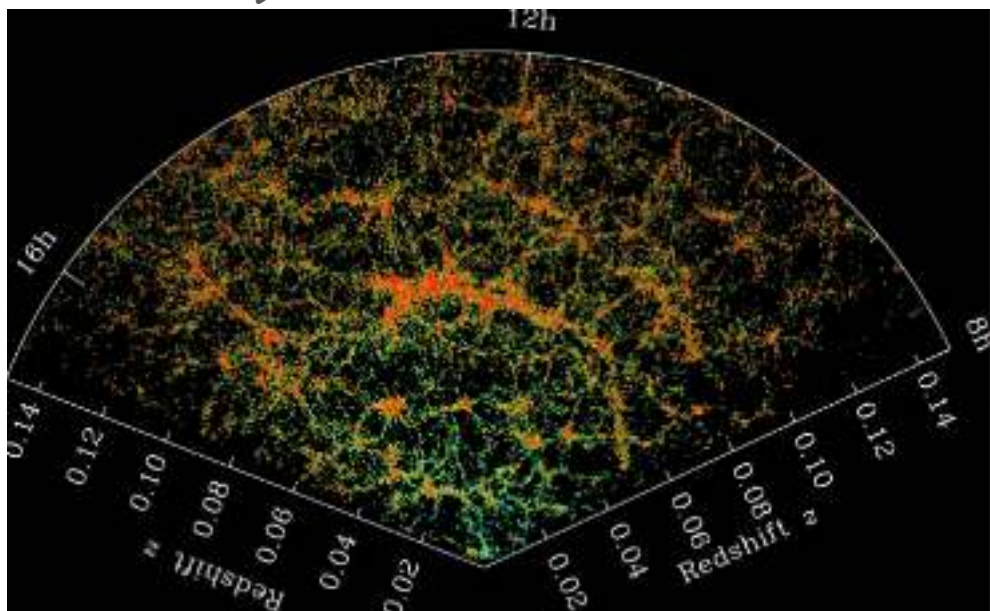


Françoise Combes  
Observatório de Paris

Fatia do Universo, mapeada pelo CfA2. Cada ponto é uma galáxia. É possível ver uma grande "muralha" de galáxias. Crédito: Richard Gott



Fatia do Universo, mapeada pelo SDSS em 2000. É possível ver "muralhas" que são ainda maiores do que no CfA2.

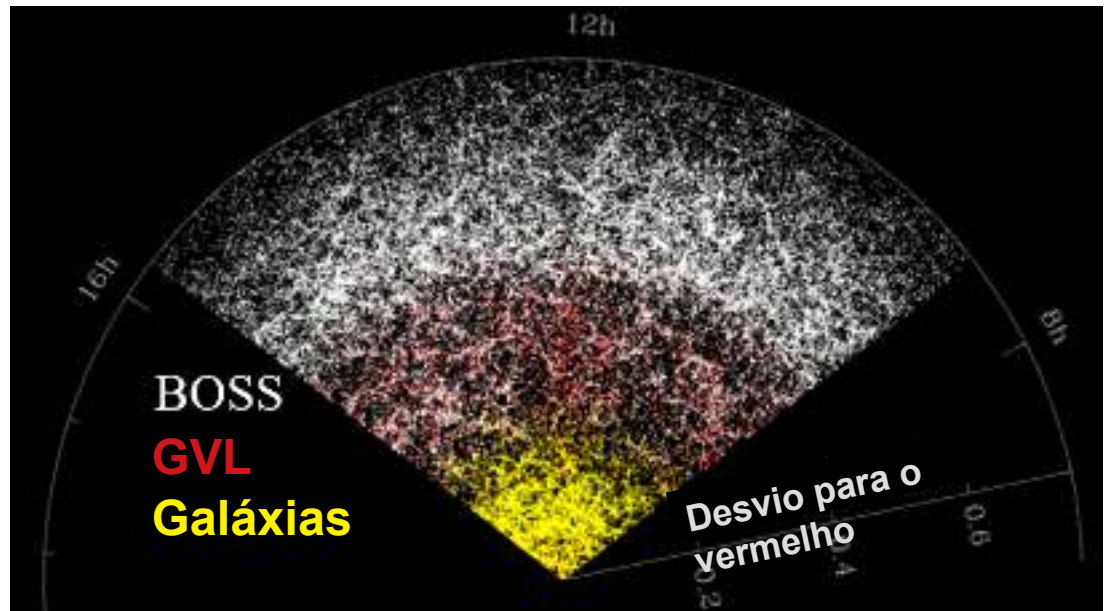


# O Universo próximo é estruturado

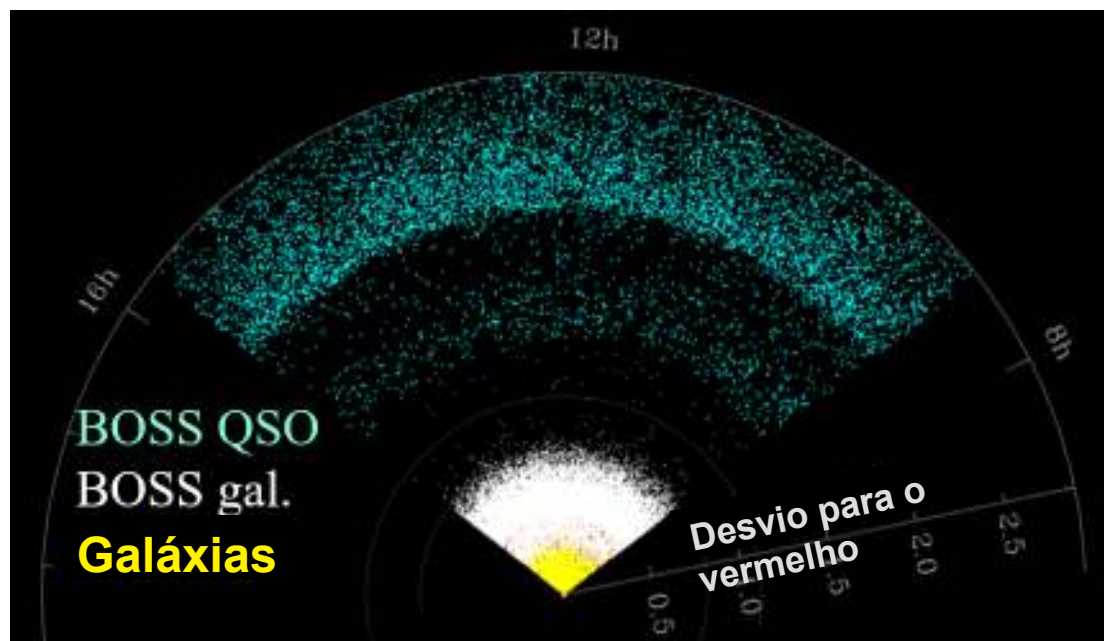
Em 1925, houve um grande debate, e concluiu-se que existem galáxias fora da Via Láctea. Levantamentos dessas galáxias foram logo feitos. Foi descoberto que o Universo "próximo" não é homogêneo, mas consiste em aglomerados mais ou menos achatados de galáxias e com uma estrutura semelhante à de um queijo suíço, contendo grandes vazios. Isso é chamado de teia cósmica.

O primeiro levantamento fornecendo as posições das galáxias e suas distâncias (medidas pelo desvio das linhas espectrais para o vermelho\*) foi o CfA2, no final do século XX. Foram necessários dez anos para observar 18.000 galáxias. Os espectrógrafos do século XXI tornaram possível observar centenas de galáxias simultaneamente e catalogar milhões de galáxias. Tais levantamentos incluem o 2dF, feito na Austrália, e o SDSS, dos EUA.

\* Veja TUIMPs 2 e 12. **3**



A amostra principal de galáxias do SDSS é mostrada em amarelo. Galáxias vermelhas luminosas (GVL) estão em vermelho, e as galáxias do projeto BOSS estão em branco. Os quasares do projeto BOSS (QSO) estão em verde.



# Levantamentos profundos

A amostra principal de galáxias do SDSS tem um desvio para o vermelho médio de  $z = 0,1$ , o que corresponde a uma distância de 1,5 bilhões de anos-luz. A amostra de galáxias luminosas vermelhas vai até  $z = 0,7$ . O projeto BOSS vai ainda mais longe, até  $z = 1$  (22 bilhões de anos-luz). Com os quasares, que são mais brilhantes que as galáxias, pode-se chegar a  $z = 5$  (155 bilhões de anos-luz).

Como esperado, o Universo é menos estruturado em altos desvios para o vermelho, ou seja, quando era mais jovem\*. Aglomerados de galáxias se formam em  $z = 2$  (3,3 bilhões de anos após o Big Bang). A estrutura de filamentos e queijo suíço já estava presente naquela época, mas era menos pronunciada do que é hoje.

\*Veja TUIMP 12

Coma

Shapley

Centaurus

Virgo

Pavo-Indus

Perseus-Pisces

Nós estamos aqui

Crédito: Tully et al. 2014

Uma representação do super-aglomerado local Laniakea, que significa "céu imenso" em havaiano. Foi nomeado em homenagem aos navegadores da Polinésia que usaram seu conhecimento do céu para navegar no Oceano Pacífico.

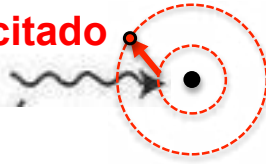
Nossa galáxia está perto do grande ponto preto central. As galáxias são mostradas como pontos brancos. As linhas brancas indicam a direção do movimento das galáxias. As áreas azuis são vazios cósmicos. A linha laranja marca o super-aglomerado de Laniakea. Os aglomerados Coma e Perseus-Pisces não fazem parte de Laniakea.

# O super-aglomerado Laniakea

Nossa galáxia está à beira de um super-aglomerado de galáxias, descoberto em 2014 e chamado Laniakea. É uma estrutura que está lentamente se separando. Mede 500 milhões de anos-luz de diâmetro e contém mais de cem mil galáxias. Para detectar Laniakea, foi necessário medir as distâncias das galáxias por métodos que não usam velocidades radiais ou pela lei Hubble-Lemaître\*. De fato, as velocidades radiais das galáxias, além da componente da expansão cósmica, são afetadas por perturbações devido à atração gravitacional que elas exercem mutuamente. Isso possibilita saber se uma galáxia tem um vínculo dinâmico com outras e, portanto, se pertence ao mesmo grupo.

\*Veja TUIMP 12

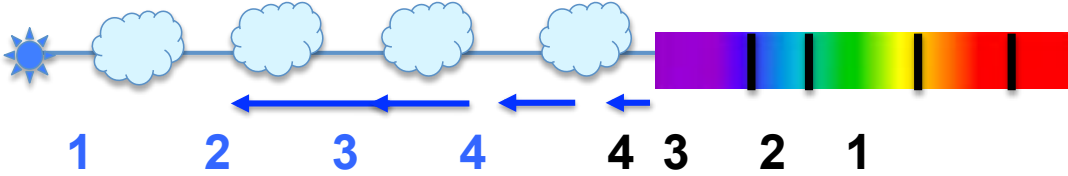
elétron excitado



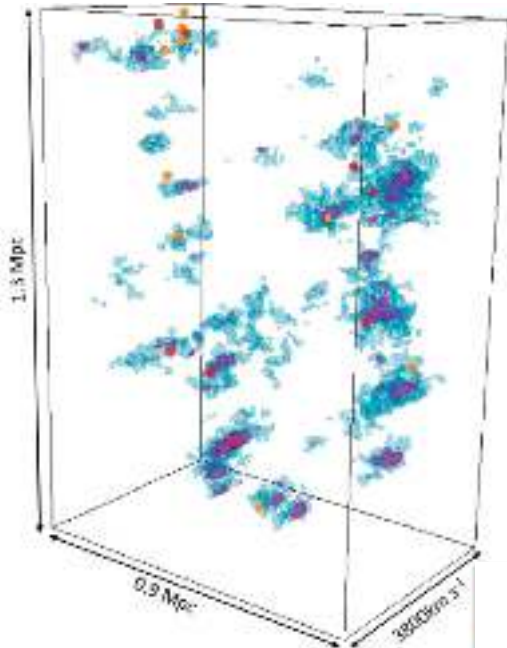
linha de absorção

quasar fóton hidrogênio espectro de um quasar

Fótons emitidos por um quasar podem ter energia suficiente para excitar um átomo de hidrogênio. Eles são absorvidos e criam uma linha de absorção no espectro do quasar.



Nuvens de gás entre nós e o quasar absorvem fótons cujos comprimentos de onda correspondem ao desvio para o vermelho da nuvem.



Esquerda: distribuição espacial dos filamentos no aglomerado SSA2. Em azul e magenta: gás. Em vermelho e laranja: as galáxias. Os filamentos têm vários milhões de anos-luz de tamanho.

De Umehata et al. (2019).



## O gás nos filamentos

Até muito recentemente, os filamentos cósmicos eram detectados apenas pelas galáxias que eles contêm. No entanto, eles também possuem matéria escura invisível e gás difuso. Os átomos de hidrogênio neste gás absorvem a luz de quasares distantes. Pode-se, assim, mapear a distribuição dos filamentos (ver p. 8).

O gás nos filamentos também pode ser detectado por sua emissão, quando excitado por estrelas quentes ou quasares. Os halos de gás foram detectados em torno de 270 galáxias em desvios para o vermelho entre 3 e 6. Essa descoberta foi feita por um grupo de astrônomos europeus, graças à extrema sensibilidade do instrumento MUSE no Very Large Telescope (VLT) do ESO.

50 kpc



Resultado de uma simulação numérica\* feita por Agertz et al. (2009) mostrando a acreção de gás frio nas galáxias ao longo de filamentos cósmicos e a ejeção de gás enriquecido em elementos pesados produzidos em estrelas.

Em azul, gás frio. Em vermelho, um halo de gás aquecido a uma temperatura muito alta. Em verde, o gás enriquecido ejetado pelas galáxias.

\* Uma simulação numérica são cálculos realizados em um computador e que busca representar um sistema real, levando em consideração as leis da física. Por exemplo, pode-se simular o fluxo de um rio, a formação de uma galáxia, etc. Os cálculos de simulações podem levar meses para serem feitos, mesmo nos computadores mais rápidos.

# Bárions nos filamentos

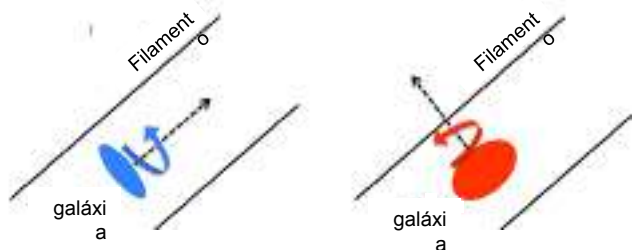
Ao contrário do que se possa pensar, a maior parte da matéria comum (bárions) não está nas galáxias. O Universo é composto por 5% de bárions, 25% de matéria escura e 70% de energia escura. A fração de bárions na componente da matéria é, portanto,  $5 / (25 + 5) = 17\%$ . Nas galáxias, foi medido que a fração de bárions não excede 3%. Mais de 80% dos bárions estão, portanto, fora das galáxias. Acredita-se que esses bárions foram ejetados por supernovas em galáxias de baixa massa e por núcleos ativos\* em galáxias mais massivas.

Essa ejeção de matéria enriquece o meio intergaláctico com elementos pesados produzidos por estrelas, como carbono, oxigênio e ferro.

\*Veja TUIMP 6



Galáxias elípticas massivas, mostradas em vermelho, estão concentradas na interseção dos filamentos. Galáxias espirais, mostradas em azul, estão localizadas nos filamentos.



As galáxias espirais têm seus eixos de rotação alinhados com os filamentos. Galáxias elípticas, que resultam da fusão de galáxias espirais, têm seus eixos perpendiculares aos filamentos. **1 2** Crédito: Sandrine Codis

## A orientação das galáxias

Diferentes tipos de galáxias tendem a ser encontrados em lugares diferentes. Em aglomerados nas interseções de filamentos, geralmente encontramos galáxias elípticas massivas. Essas galáxias contêm apenas estrelas antigas (por isso sua cor ser vermelha). Ao longo dos filamentos, normalmente encontramos galáxias espirais. Essas galáxias crescem gás frio e, então, formam estrelas; isso resulta em sua cor azul característica.

O gás crescido às galáxias azuis vem das partes externas dos filamentos, e os eixos de rotação dessas galáxias tendem a ser orientados paralelamente ao filamento. O oposto é verdadeiro para as galáxias elípticas vermelhas, que geralmente são o resultado da fusão de duas galáxias espirais. A página 12 mostra essas tendências em simulações numéricas. 13



# Desafio

Qual dessas imagens mostra:

- Galáxias alinhadas?
- Filamentos cósmicos?
- Uma teia de aranha?



Respostas no verso

Alinhamento das galáxias  
no aglomerado MACS  
J0416.1-2403.  
Imagem do Telescópio  
Espacial Hubble

# Respostas



Teia de aranha

Simulação da teia  
cós mica



## O Universo no meu bolso No. 13

Este livrinho foi escrito em 2020 por Françoise Combes do Observatório de Paris (França) e traduzido por Marina Trevisan da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil).

Imagem da capa: Simulação numérica da distribuição de matéria escura na teia cósmica. Quanto mais clara a cor, maior a densidade. Galáxias se formam ao longo dos filamentos e os aglomerados de galáxias na interseção dos filamentos. Esta simulação faz parte do projeto Millenium.

Crédito: Springel et al. (2005).



Para saber mais sobre essa série e sobre os tópicos deste livrinho, visite <http://www.tuimp.org>

TUIMP Creative Commons

