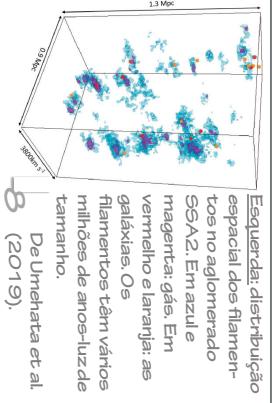


Fótons emitidos por um quasar podem ter energia suficiente para excitar um átomo de hidrogênio. Elas são absorvidas e criam uma linha de absorção no espectro do quasar.



De Urnhamata et al.  
(2019).

**O gás nos filamentos**

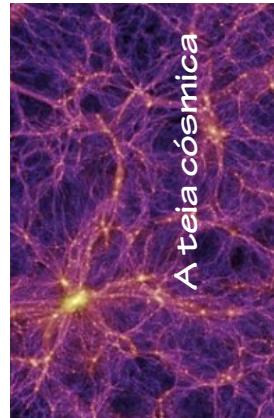
Até muito recentemente, os filamentos cósmicos eram detectados apenas pelas galáxias que eles contêm. No entanto, eles também possuem matéria escura invisível e gás difuso. Os átomos de hidrogênio neste gás absorvem a luz de quasares distantes. Pode-se, assim, mapear a distribuição dos filamentos (ver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

**A orientação das galáxias**

Diferentemente de galáxias-tendâncias, que se encontram sobre linhas diferentes. Em algumas das interações de filamentos, especialmente entre galáxias massivas, essas galáxias costumam ser estrelas antigas (por isso sua cor vermelha). Ao longe, os filamentos, normalmente encontradas 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-jaliscas vermelhas, que geralmente são o resultado da fusão apressada entre essas tendências em simulações numéricas. 13

O Universo ou meu bolso



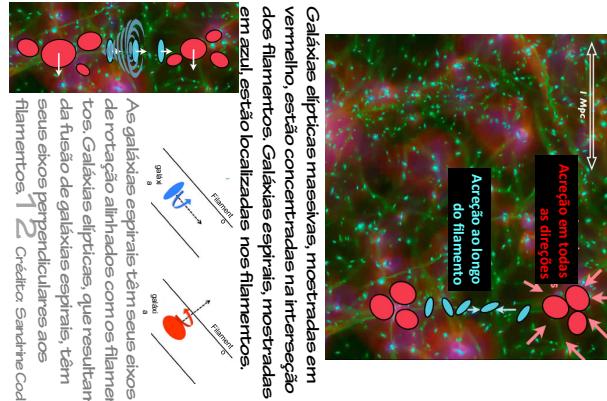
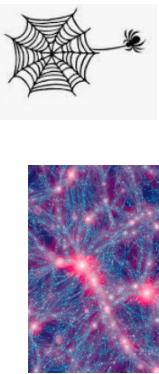
Françoise Combes  
Observatório de Paris



Respostas no verso

## Desafio

- Qual dessas imagens mostra:
- Galáxias alinhadas?
  - Filamentos cósmicos?
  - Uma teia de aranha?



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

As galáxias elípticas têm seus eixos de rotação alinhados com os filamentos. Galáxias elípticas, que resultam da fusão de galáxias espirais, têm seus eixos perpendiculares aos filamentos. 12 Crédito: Sandrine Codelle

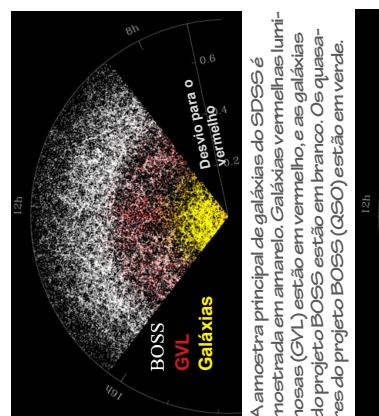
**Levantamentos profundos**

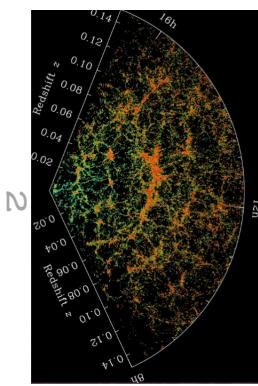
A amostra principal de galáxias do SDSS tem um desvio para o vermelho médio de  $z = 0,1$ , o que corresponde a uma distância de 1,5 bilhões de anos-luz. A amostra de galáxias luminosas vermelhas vai até  $z = 0,7$ . O projeto BOSS vai ainda mais longe, até  $z = 1$  (22 bilhões de anos-luz). Com os 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 sugere já estava presente naquela época, mas era menos pronunciada do que é hoje.

\*Veja TULLIP 12

As amostras principais de galáxias do SDSS é mostrada em amarelo. Galáxias vermelhas luminosas (CVL) estão em vermelho, e as galáxias do projeto BOSS estão em branco. Os dados baseados no projeto BOSS (Q5) estão em verde.



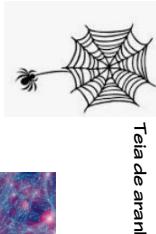


Fatia do Universo, mapeada pelo CfA2. Cada ponto é uma galáxia. É possível ver uma grande "muralha" de galáxias. Crédito: Richard Gott

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

2

Simulação da teia cósmica



Tela de aranha

## Respostas



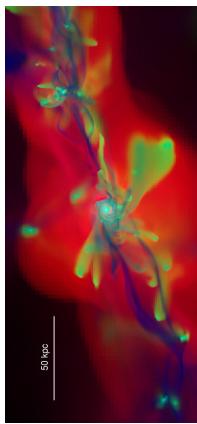
Agrupamento das galáxias no aglomerado MACS J0416.1-2403. Imagem do telescópio Espacial Hubble

## 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

7



Resultado de uma simulação numérica feita por Agertz et al. (2009) mostrando a atração de gás frios nas galáxias ao longo de filamentos cósmicos e a ação 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.

10

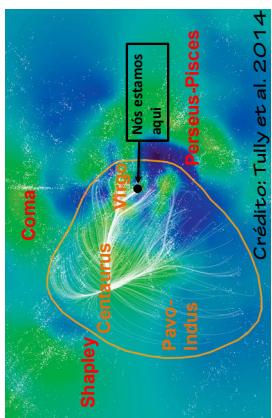
11

\* Veja TUIMP G

## 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 medida 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 11



Credit: 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 linda laranja marca o super-aglomerado de Laniakea. Os aglomerados Coma e Perseus-Pisces não fazem parte de Laniakea.

6



Para saber mais sobre essa série e sobre os tópicos deste livro, visite

<http://www.tuimp.org>

TUIMP Creative Commons



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 1,8 milhares de galáxias. Os espectrógrafos do século XXI tornaram possível observar centenas de galáxias simultaneamente e catalogar milhares de galáxias. Tais levantamentos incluem o 2dF, feito na Austrália, e o SDSS, dos EUA.

\* Veja TUIMPs 2 e 12...3