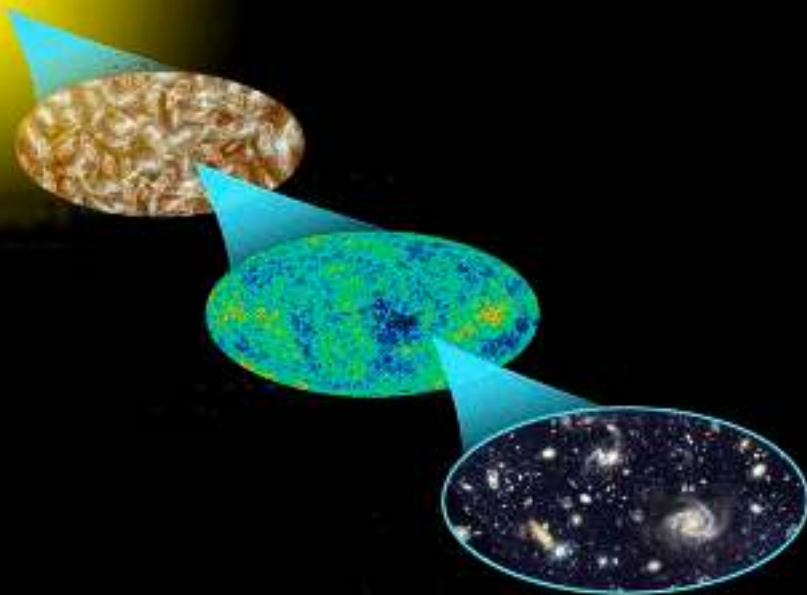


# O Universo no meu bolso

## O Big Bang



Françoise Combes  
Observatório de Paris



O Universo pode ser imaginado como a superfície de um balão em expansão, na qual galáxias estão desenhadas. Cada observador em qualquer galáxia tem a impressão de que todas as outras estão se afastando, com uma velocidade proporcional à distância entre elas. Em 1915, Vesto Slipher estudou os espectros de nebulosas espirais e descobriu que a maioria delas mostra linhas espectrais com desvio para vermelho, indicando que estão se afastando da Terra\*. Essa foi a primeira evidência - ainda não reconhecida na época - da expansão do Universo (veja a página ao lado).

# A expansão do Universo

Como as galáxias se formaram? Pouco se sabia há um século, nem mesmo se haviam outras galáxias além da nossa, a Via Láctea. Em 1908, Henrietta Leavitt mostrou que o intervalo de tempo entre dois máximos de brilho sucessivos das Cefeidas - um tipo de estrela de brilho variável - está relacionado à sua luminosidade. Em 1925, quando Edwin Hubble identificou Cefeidas em **nebulosas espirais**, ele conseguiu estimar suas distâncias e provar que elas estavam fora da Via Láctea. As nebulosas espirais passaram a ser chamadas **galáxias**. Em 1927, Georges Lemaître entendeu que a "fuga" das galáxias é um efeito devido à expansão do espaço. Em 1929, Hubble estabeleceu a relação entre distância e velocidade de afastamento das galáxias. Essa relação crucial, denominada lei de Hubble, foi renomeada como lei de Hubble-Lemaître em 2018.

# O Big Bang



Fred Hoyle

Se o Universo está se expandindo, então, no começo, ele era necessariamente muito denso e muito quente. O astrônomo Fred Hoyle

não gostava desse modelo. Para tirar sarro, em um programa da BBC em 1949, ele o chamou de **Big Bang**. E esse foi o nome que pegou!

Um dos primeiros argumentos a favor do Big Bang foi proposto em 1948 por George Gamow e seu aluno Ralf Alpher.

Eles mostraram que somente sob as condições extremas de densidade e temperatura do Big Bang, os elementos hélio, deutério e lítio poderiam ser formados nas quantidades que hoje são observadas no Universo.



G. Gamow

# A radiação fóssil

Por causa da expansão, o Universo esfria. Hoje sua temperatura é apenas 3 graus acima do zero absoluto (3 K ou  $-270^{\circ}\text{C}$ ). O Universo é banhado em radiação a essa temperatura, que é uma relíquia do Big Bang.

Essa radiação foi detectada por acaso em 1965 pelos radioastrônomos Arno Penzias e Bob Wilson, que estavam trabalhando em receptores de ondas milimétricas.



Penzias & Wilson

Intrigados com um sinal fraco vindo de todas as direções, eles consultaram o astrofísico Robert Dicke e seus colegas, que sugeriram que esse sinal era a radiação fóssil do Big Bang. Por essa descoberta, Penzias e Wilson receberam o Prêmio Nobel em 1978.

## Mapas da radiação em micro-ondas obtidos pelo satélite COBE

a: depois de subtrair a componente uniforme da radiação cósmica de fundo (RCF);

b: depois de corrigir o efeito causado pelo movimento da nossa Galáxia em relação à RCF;

c: depois de remover a

radiação da Via Láctea e de outras galáxias próximas, finalmente descobrimos as pequenas flutuações da RCF (1/100.000 em amplitude), ou seja, o estado do Universo na época da recombinação.

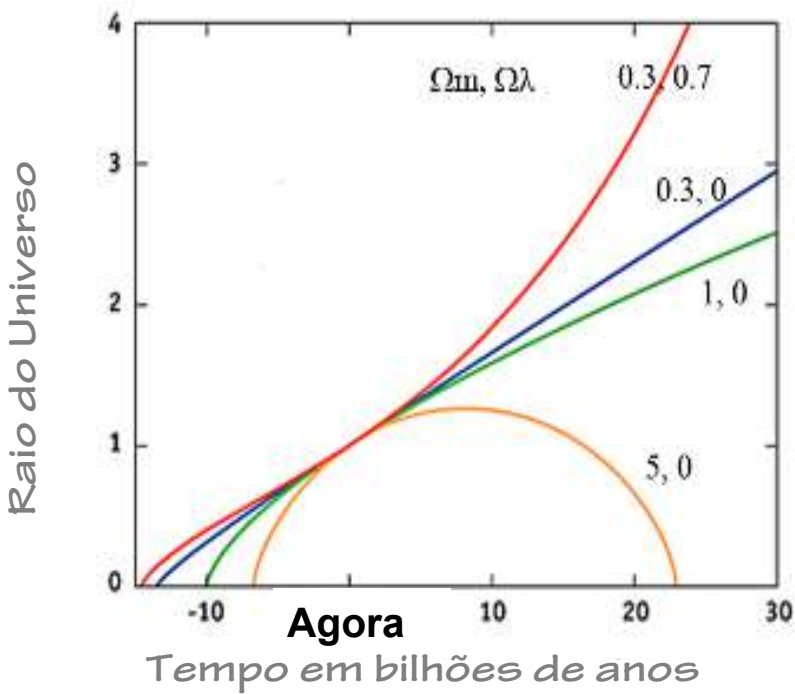
O fundo difuso observado pelo COBE em 1992 (A), pelo WMAP em 2003 (B) e pelo satélite Planck lançado pela NASA e ESA em 2013 (C).

Cada missão revela mais detalhes.

## Flutuações primordiais

A radiação fóssil do Big Bang, que caiu para 3 graus Kelvin por causa da expansão, foi emitida quando o Universo ainda estava denso e quente, 380.000 anos após o Big Bang. O Universo foi atravessado por ondas que deixaram sua marca no fundo cósmico de microondas. Essas são as **flutuações primordiais** - as sementes das galáxias (veja a página 6).

Quando a temperatura do Universo caiu abaixo de 3000 K, os prótons se recombinaram com os elétrons, formando átomos de hidrogênio. Estudos estatísticos das flutuações mostram que o Universo contém 5% de bárions (matéria como a conhecemos), 25% de **matéria escura** e 70% de **energia escura**. Eles também indicam que o Universo é geometricamente plano e que 13,8 bilhões de anos se passaram desde o Big Bang.



A evolução do raio do Universo, de acordo com vários modelos cosmológicos com diferentes valores dos parâmetros  $\Omega_M$ , a densidade de matéria, e  $\Omega_\Lambda$ , a densidade de energia escura do Universo. A evolução do Universo está ligada ao valor de  $\Omega = \Omega_M + \Omega_\Lambda$ . Se  $\Omega = 5$ , o Universo recondenará em um “Big-Crunch” (curva amarela). Se o Universo tiver curvatura zero ( $\Omega = 1$ ) ou negativa ( $\Omega = 0,3$ ), a expansão se estenderá infinitamente (curvas verde e azul). As observações atuais levam à curva vermelha. A curvatura é zero e a expansão é acelerada.



## A constante cosmológica

Em 1915, Albert Einstein publicou as equações da relatividade geral, que ligam a geometria do Universo à quantidade de matéria e energia que ele contém. Para explicar um universo estático (o que se acreditava na época), ele havia acrescentado um termo chamado constante cosmológica  $\Lambda$ . Quando ficou claro, em 1929, que o Universo está se expandindo, Einstein declarou que a introdução de  $\Lambda$  foi o maior erro de sua vida.

Durante a maior parte do século XX,  $\Lambda$  foi ignorado. Mas em 1998, usando super-novas do tipo Ia, que são indicadores de distância mais poderosos que as Cefeidas, dois grupos de observadores descobriram que a expansão do Universo está se acelerando. Eles receberam o Prêmio Nobel em 2011.

**BIG BANG**

**RCF**

**Primeiras estrelas**

**380.000 anos**

**Hoje**

**200 milhões de anos**

**13.8 bilhões de anos**

### Uma história simplificada do Universo:

- Durante os primeiros minutos: o Big Bang e a formação de radiação e partículas elementares
- Depois de 380,000 anos: recombinação de prótons e elétrons, formando átomos de hidrogênio.
- Depois de 200 milhões de anos: formação das primeiras estrelas nas primeiras galáxias, e reionização progressiva do Universo.
- Finalmente, até hoje: a transformação das galáxias através de fusões com galáxias menores.

# Energia escura

A expansão deveria ser desacelerada pela força gravitacional de toda a matéria do Universo.

Se a expansão acelera, como pensamos agora, significa que há outra componente que exerce uma força repulsiva. Esse é o papel que a constante cosmológica desempenha. Essa componente é chamada de **energia escura**. Ela torna todas as observações compatíveis umas com as outras, como a curvatura e a idade do Universo (que não pode ser menor que a idade das estrelas mais velhas). Nos resta descobrir qual é a natureza dessa energia escura.

A história do Universo como a conhecemos hoje é descrita na p. 10 e seu destino está esquematizado na p. 8.



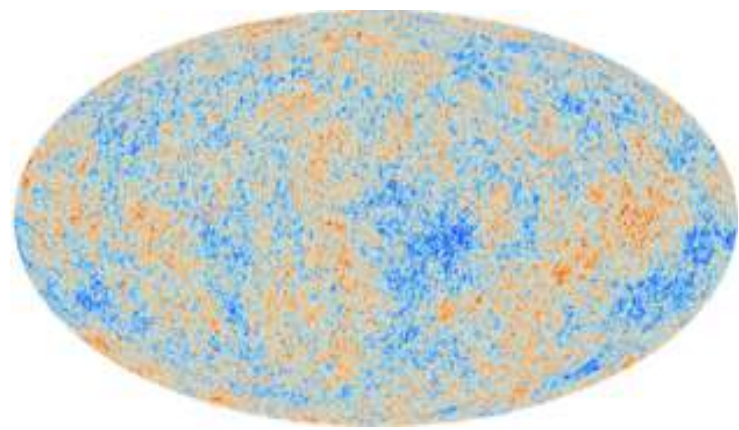
Você está aqui, no centro do Universo visível

O horizonte do Universo observável.

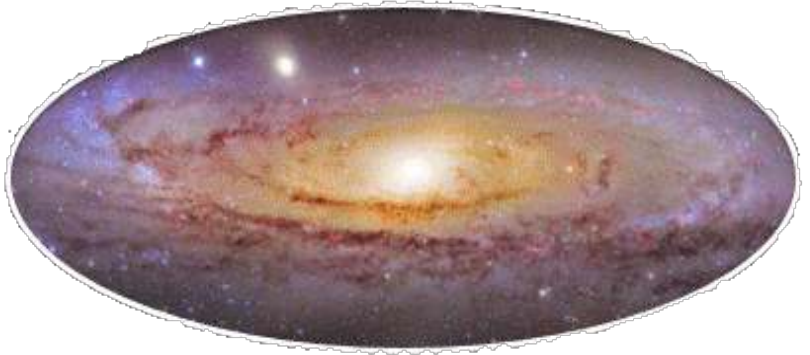
Todos os observadores estão no centro de uma esfera que representa seu Universo observável. Eles não podem observar além deste horizonte. As galáxias que possam existir além desse horizonte não tiveram tempo de se comunicar com esses observadores porque seus fótons, que viajam na velocidade da luz, não tiveram tempo suficiente para alcançá-los.

## O horizonte do Universo

Hoje podemos reconstruir toda a história do Universo, começando com o Big Bang (ver p. 10). Várias observações confirmam esse modelo cosmológico, e os astrônomos já exploraram grande parte do Universo observável. Eles não podem observar além de uma certa distância, é claro, porque os sinais que chegam à Terra não podem viajar mais rápido que a luz, cuja velocidade é de 299.792 km/s. Assim, observar objetos distantes é como voltar no tempo. Os fótons que recebemos hoje de galáxias primordiais foram emitidos de 12 a 13 bilhões de anos atrás. Assim, vemos essas galáxias como eram na juventude. Quando observamos os fótons da radiação cósmica de fundo, estamos olhando para 13,8 bilhões de anos atrás no tempo (veja a página ao lado).




# Desafio



Qual dessas imagens mostra as flutuações da radiação cósmica de fundo?



Resposta no verso



Flutuações da  
radiação cósmica de  
fundo



Imagem óptica da galáxia  
Andrômeda M31

# Resposta

Mapa dos  
continentes e  
oceanos da  
Terra



# O Universo no meu bolso No. 12

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.

Imagem da capa: Uma breve história do Universo (veja também a página 10).

Créditos: NASA/WMAP



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

TUIMP Creative Commons

