

RECEITA CÓSMICA

Como preparar um Universo em
expansão



Elsa Teixeira

emcteixeira1@sheffield.ac.uk

1 de Junho de 2023

Universidade de Sheffield

Ilustrações: Inês Viegas Oliveira
(ivoliveira.com)



Cosmologia

- **Domínio da Metafísica:** ferramentas observacionais muito limitadas e nenhuma base matemática para as leis da Física (Aristóteles no Sec. IV a.C.)
- A prática da Astronomia baseou-se apenas em **observação** (eventualmente com telescópios) durante muito tempo (Galileu no Sec. XVII)



Cosmologia

- **Domínio da Metafísica:** ferramentas observacionais muito limitadas e nenhuma base matemática para as leis da Física (Aristóteles no Sec. IV a.C.)
- A prática da Astronomia baseou-se apenas em **observação** (eventualmente com telescópios) durante muito tempo (Galileu no Sec. XVII)
- A **Teoria da Gravitação de Newton** descrição física da gravidade como uma força, permaneceu em vigor durante 2 séculos (Sec. XVIII)
- Só é substituída no Sec. XX, quando em 1905 e 1915 **Einstein** publicou as suas teorias da Relatividade Especial e da **Relatividade Geral**



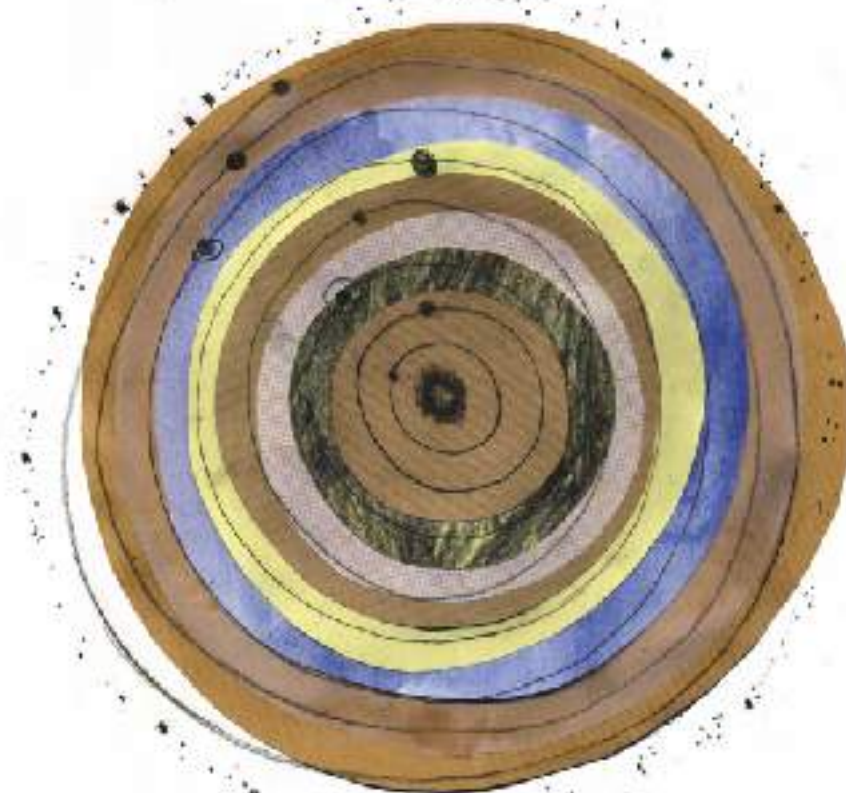
Cosmologia

- **Domínio da Metafísica:** ferramentas observacionais muito limitadas e nenhuma base matemática para as leis da Física (Aristóteles no Sec. IV a.C.)
- A prática da Astronomia baseou-se apenas em **observação** (eventualmente com telescópios) durante muito tempo (Galileu no Sec. XVII)
- A **Teoria da Gravitação de Newton** descrição física da gravidade como uma força, permaneceu em vigor durante 2 séculos (Sec. XVIII)
- Só é substituída no Sec. XX, quando em 1905 e 1915 **Einstein** publicou as suas teorias da Relatividade Especial e da **Relatividade Geral**
- O **progresso científico** baseia-se na ligação íntima entre a filosofia e o pensamento crítico, as leis da física e a linguagem da matemática



Lei de Hubble (1929)

Relação linear entre a distância a uma galáxia e a sua velocidade de recessão



Cefeidas (distância galáxias)

*A RELATION BETWEEN DISTANCE AND RADIAL VELOCITY
AMONG EXTRA-GALACTIC NEBULAE*

BY EDWIN HUBBLE

MOUNT WILSON OBSERVATORY, CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON

Communicated January 17, 1929

Determinations of the motion of the sun with respect to the extra-galactic nebulae have involved a K term of several hundred kilometers which appears to be variable. Explanations of this paradox have been sought in a correlation between apparent radial velocities and distances, but so far the results have not been convincing. The present paper is a re-examination of the question, based on only those nebular distances which are believed to be fairly reliable.

Distances of extra-galactic nebulae depend ultimately upon the application of absolute-luminosity criteria to involved stars whose types can be recognized. These include, among others, Cepheid variables, novae, and blue stars involved in emission nebulosity. Numerical values depend upon the zero point of the period-luminosity relation among Cepheids. This method...

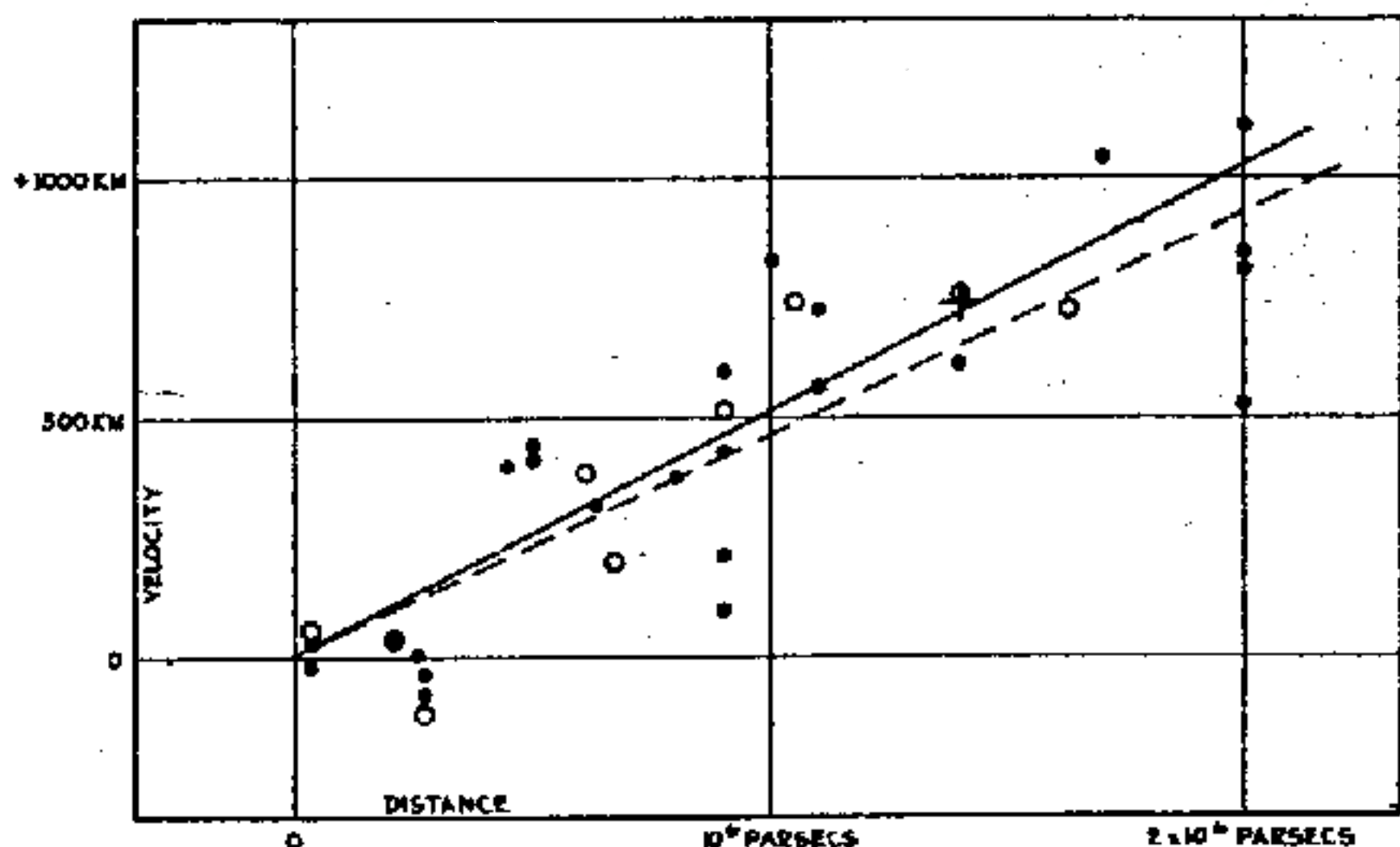


FIGURE 1

Distância à galáxia (anos-luz)	Velocidade de recessão (km/s)
1,000,000	20
2,000,000	40
3,000,000	60
4,000,000	80
5,000,000	100

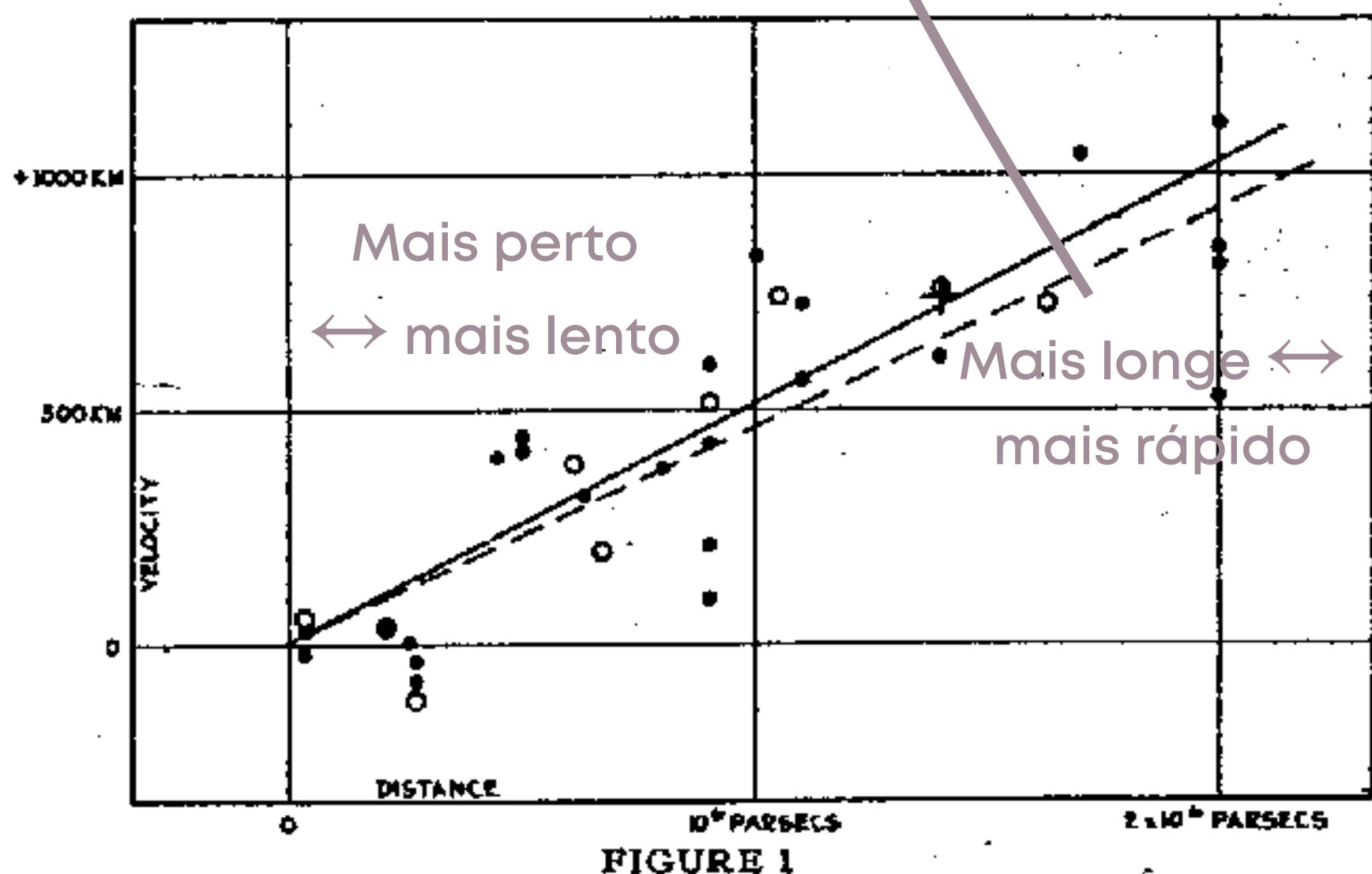
Lei de Hubble (1929)

Relação linear entre a distância a uma galáxia e a sua velocidade de recessão



Cefeidas (distância galáxias)

$$v = H_0 d$$



A RELATION BETWEEN DISTANCE AND RADIAL VELOCITY AMONG EXTRA-GALACTIC NEBULAE

BY EDWIN HUBBLE

MOUNT WILSON OBSERVATORY, CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON

Communicated January 17, 1929

Determinations of the motion of the sun with respect to the extra-galactic nebulae have involved a K term of several hundred kilometers which appears to be variable. Explanations of this paradox have been sought in a correlation between apparent radial velocities and distances, but so far the results have not been convincing. The present paper is a re-examination of the question, based on only those nebular distances which are believed to be fairly reliable.

Distances of extra-galactic nebulae depend ultimately upon the application of absolute-luminosity criteria to involved stars whose types can be recognized. These include, among others, Cepheid variables, novae, and blue stars involved in emission nebulosity. Numerical values depend upon the zero point of the period-luminosity relation among Cepheids. The method used to determine the zero point of the distance-distance relation is described in the appendix.

Distância à galáxia (anos-luz)	Velocidade de recessão (km/s)
1,000,000	20
2,000,000	40
3,000,000	60
4,000,000	80
5,000,000	100

Lei de Hubble (1929)

Relação linear entre a distância a uma galáxia e a sua velocidade de recessão



Cefeidas (distância galáxia)

$$v = H_0 d$$

Energia remanescente do Big Bang: O Universo está em expansão!

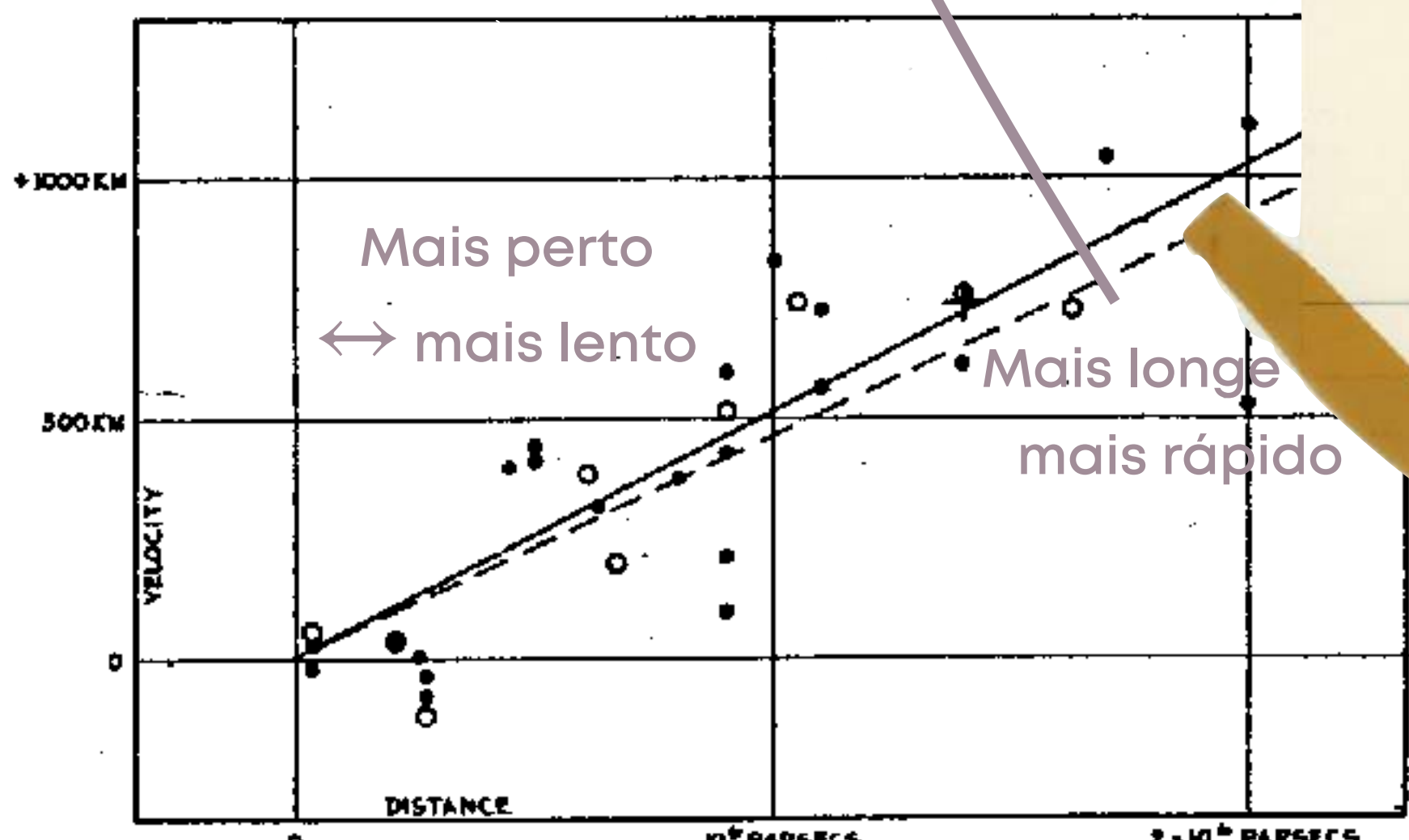


FIGURE 1

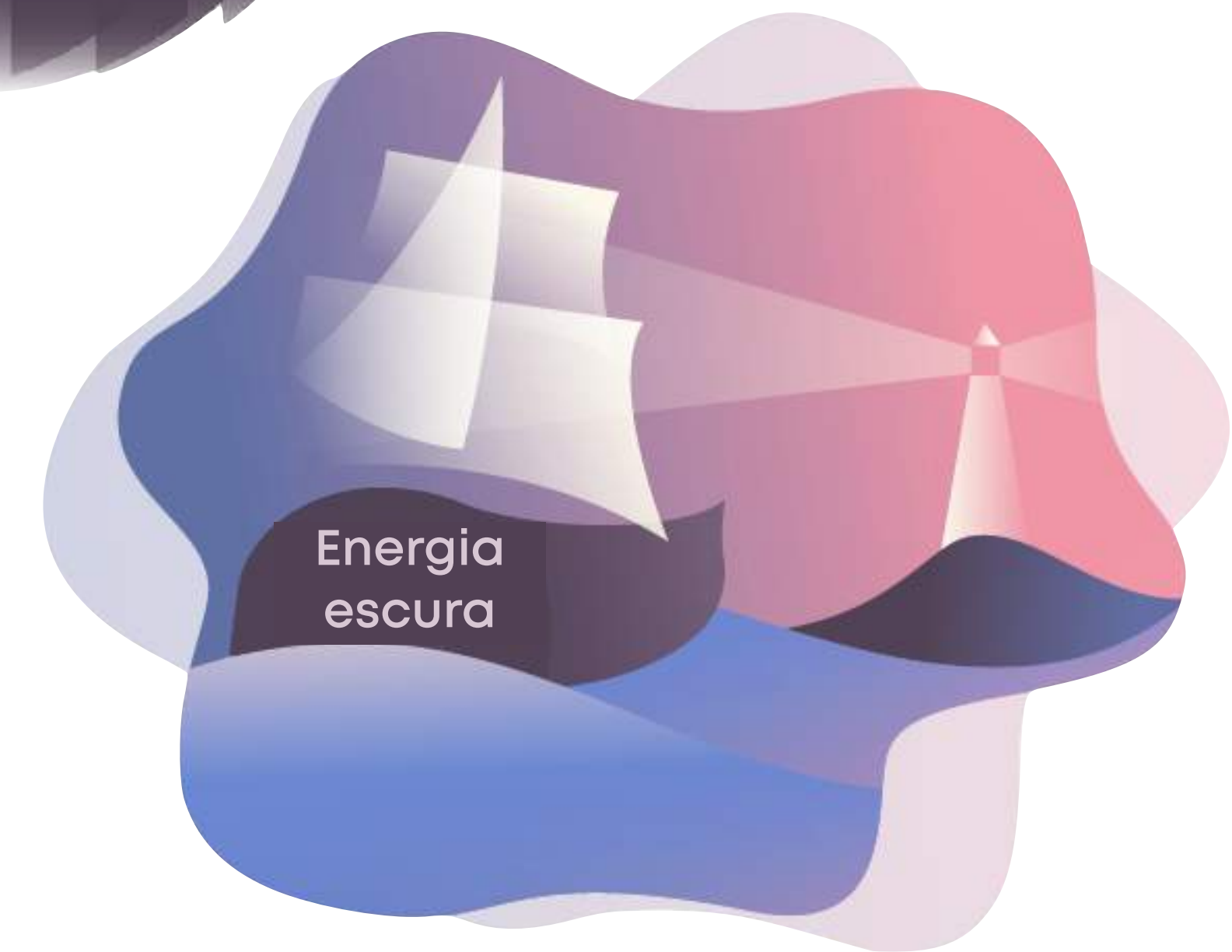
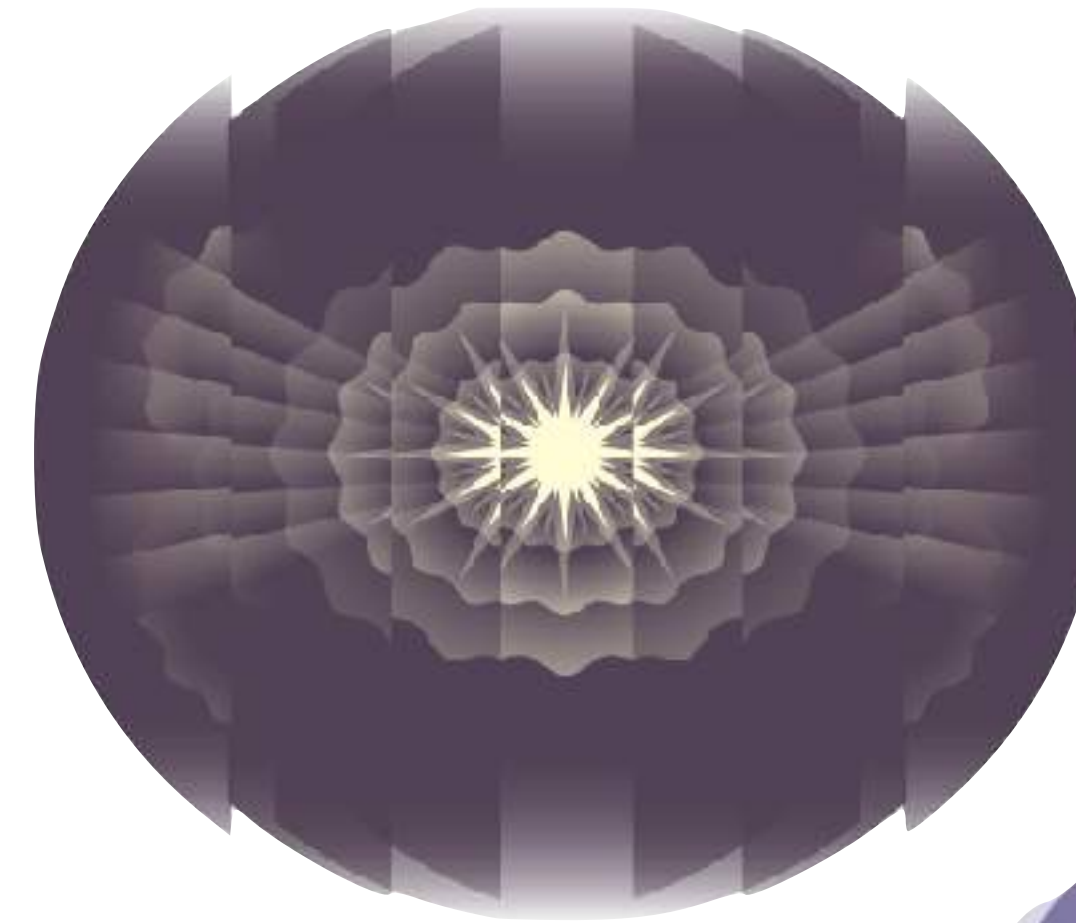
re-examination of the question, based on only those nebular distances which are believed to be fairly reliable. Distances of extra-galactic nebulae depend ultimately upon the application of absolute-luminosity criteria to involved stars whose types can be recognized. These include, among others, Cepheid variables, novae, and blue stars involved in emission nebulosity. Numerical values depend upon the zero point of the period-luminosity relation among Cepheids. This method

Distance to galaxy (lightyrs)	Velocity of recession (km/s)
1,000,000	20
2,000,000	40
3,000,000	60
4,000,000	80
5,000,000	100

Expansão Acelerada

Prémio Nobel da física em 2011

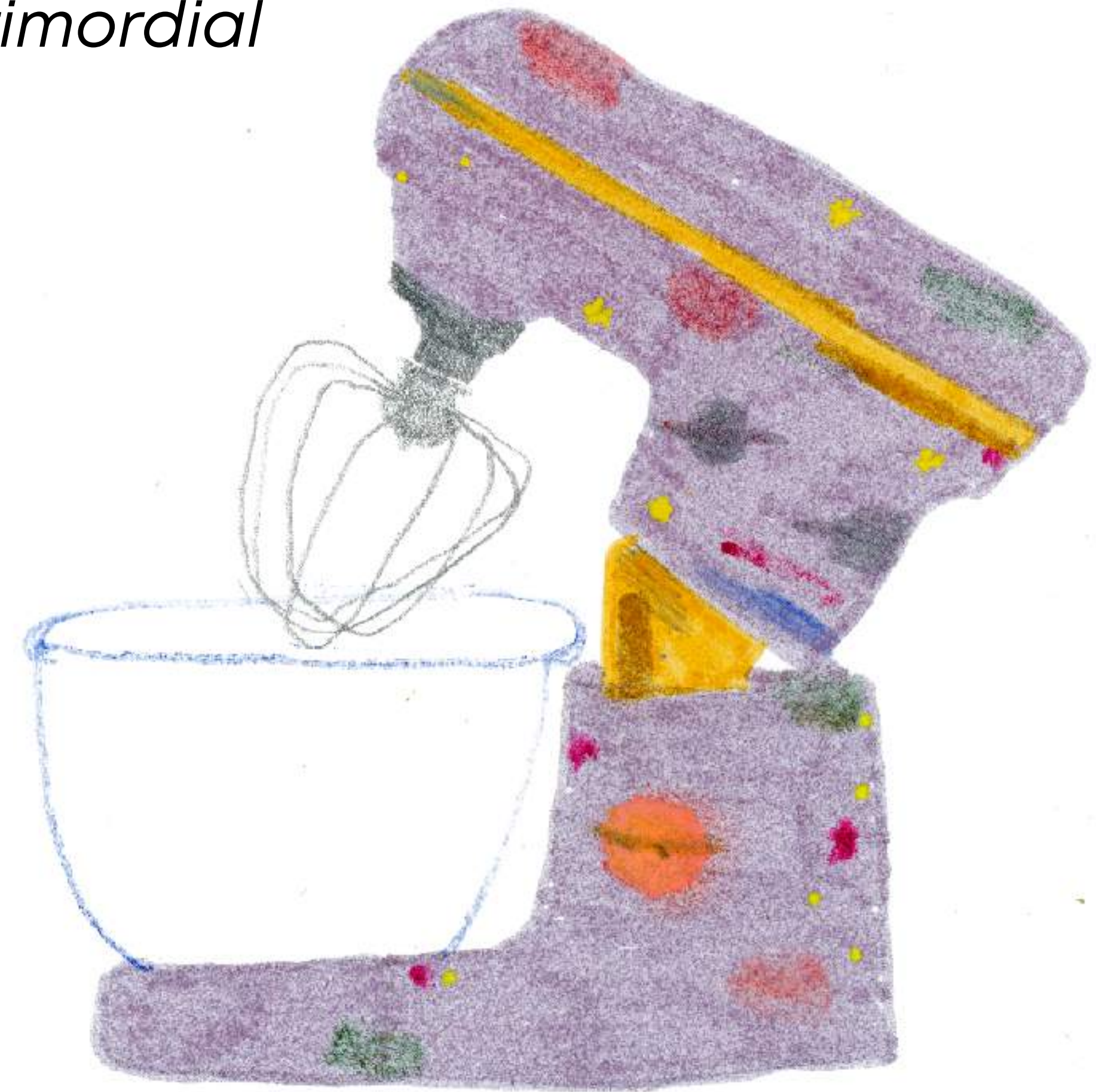
- Em 1998 duas equipas estudaram as distâncias a **supernovas do tipo Ia**
- **Velas padrão** - sabemos quão luminosas são - podemos inferir a sua distância aparente
- Verificou-se que o brilho diminui mais rápido com a **distância** e portanto...
- A expansão é **acelerada!**
- Também confirmado por outras observações



Inflação

Período rápido de expansão acelerada no Universo primordial

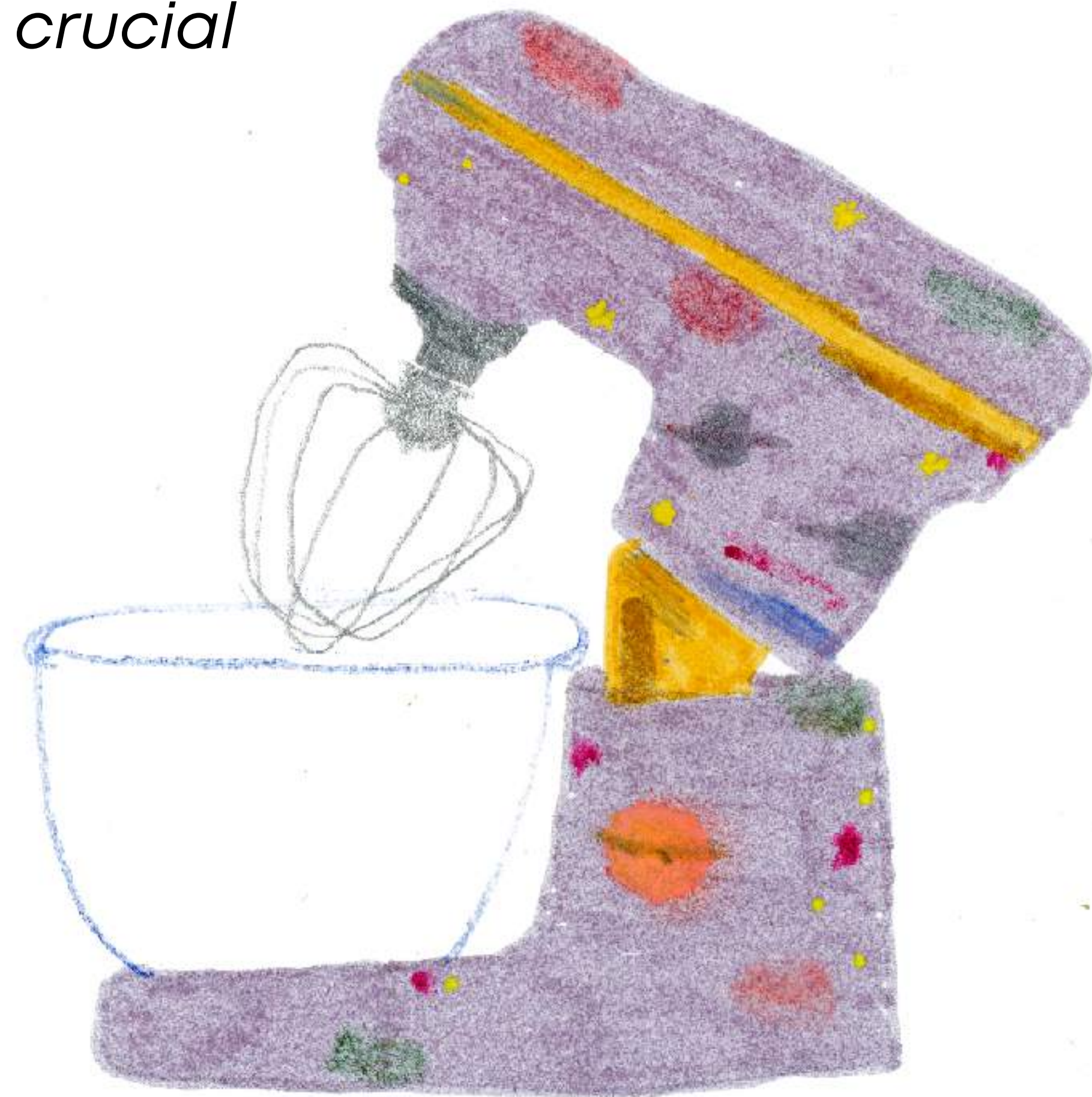
- Necessário para explicar porque o Universo é tão **homogéneo**
- Ironicamente também explica a produção de pequenas **flutuações quânticas** que geram galáxias e aglomerados de galáxias



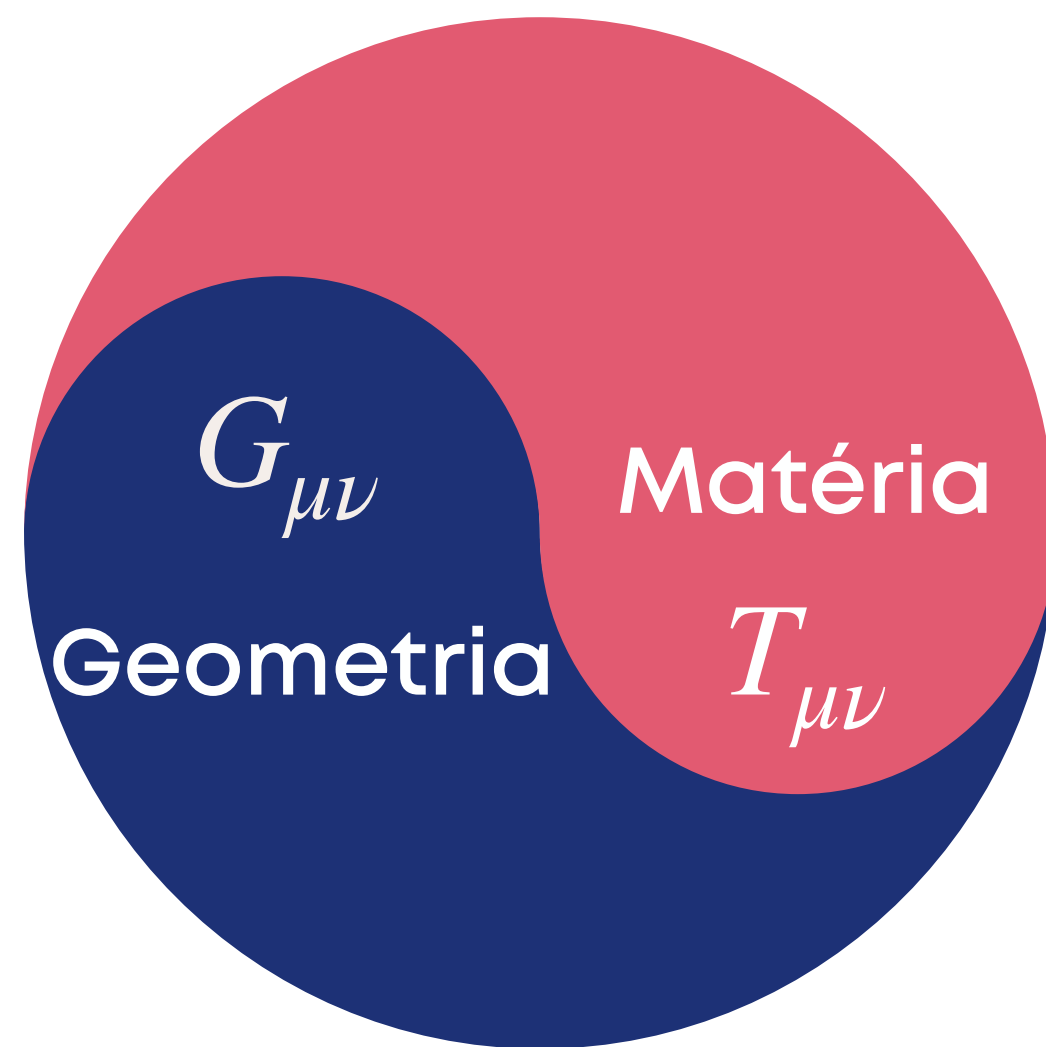
Matéria Escura

Matéria agregadora que não se vê mas tem um papel crucial

- Necessário para explicar porque o Universo é tão homogêneo
- Ironicamente também explica a produção de pequenas flutuações quânticas que geram galáxias e aglomerados de galáxias
- Matéria escura produz o **mecanismo** para o colapso gravitacional de estruturas
- Também explica observações do **movimento de rotação de galáxias** que sugere a presença de muito **mais matéria** do que a que se vê

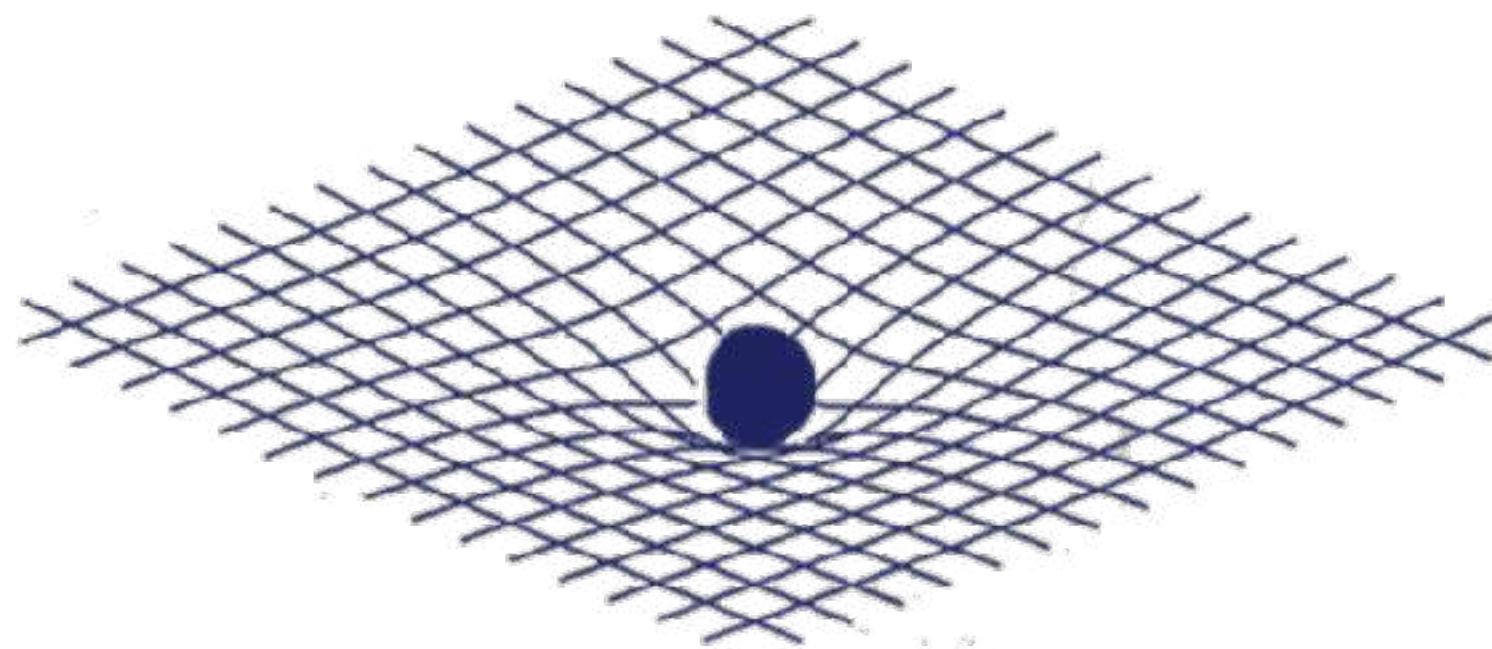
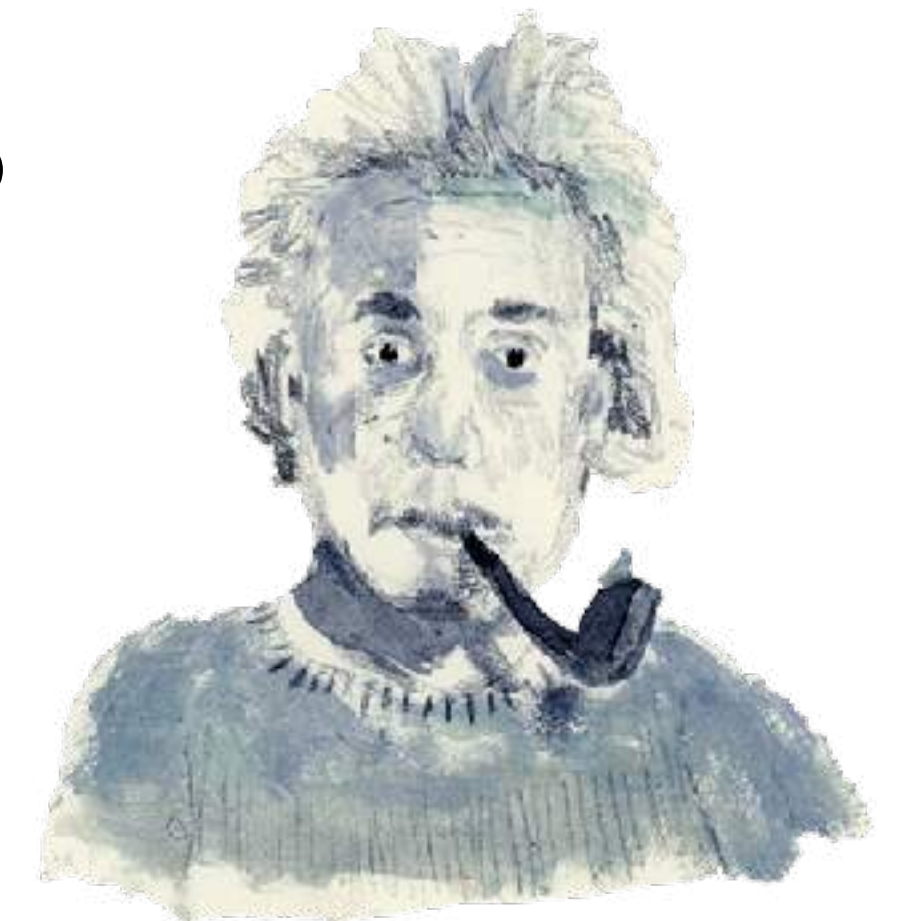


Relatividade Geral (1915)

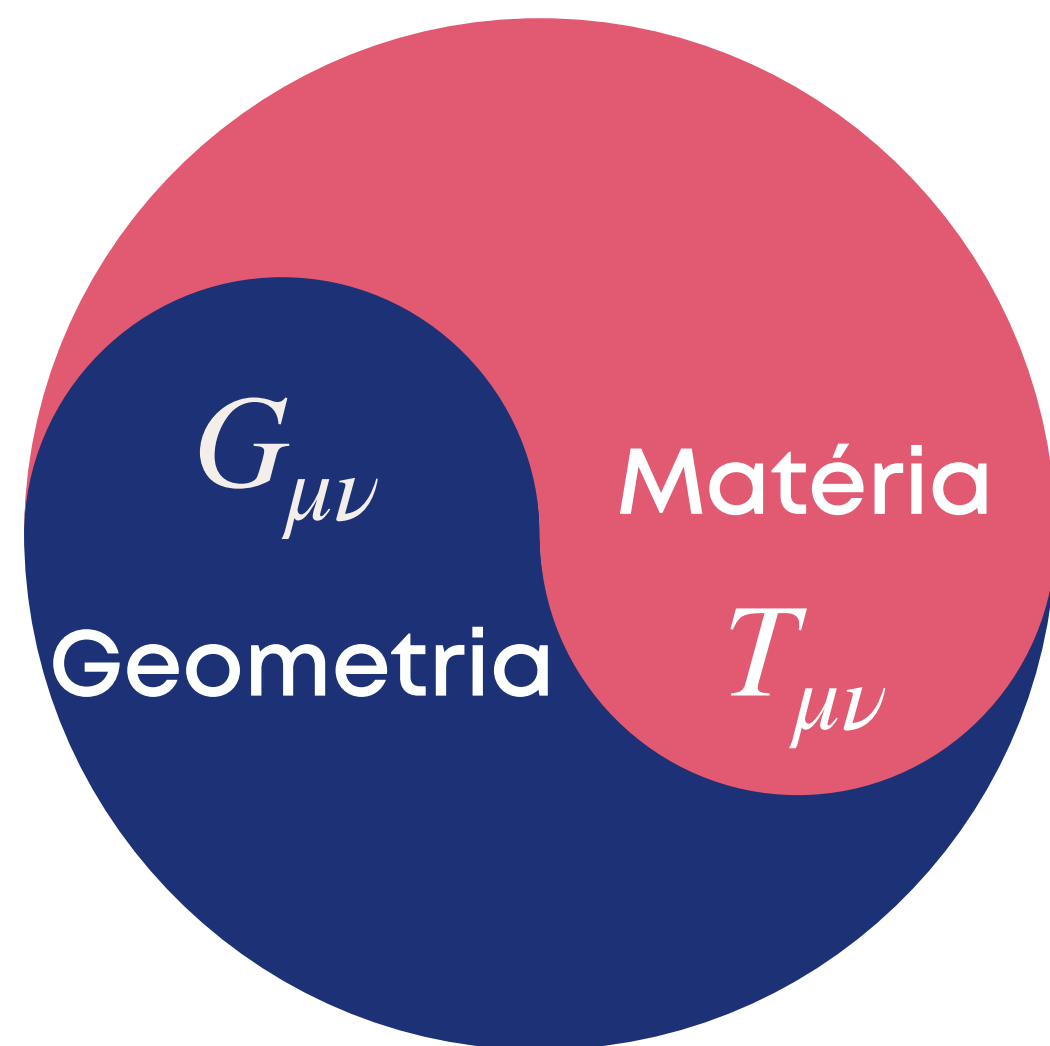


Equivalência entre a matéria contida no Universo e a sua geometria expressa pelas **Equações de Einstein**:

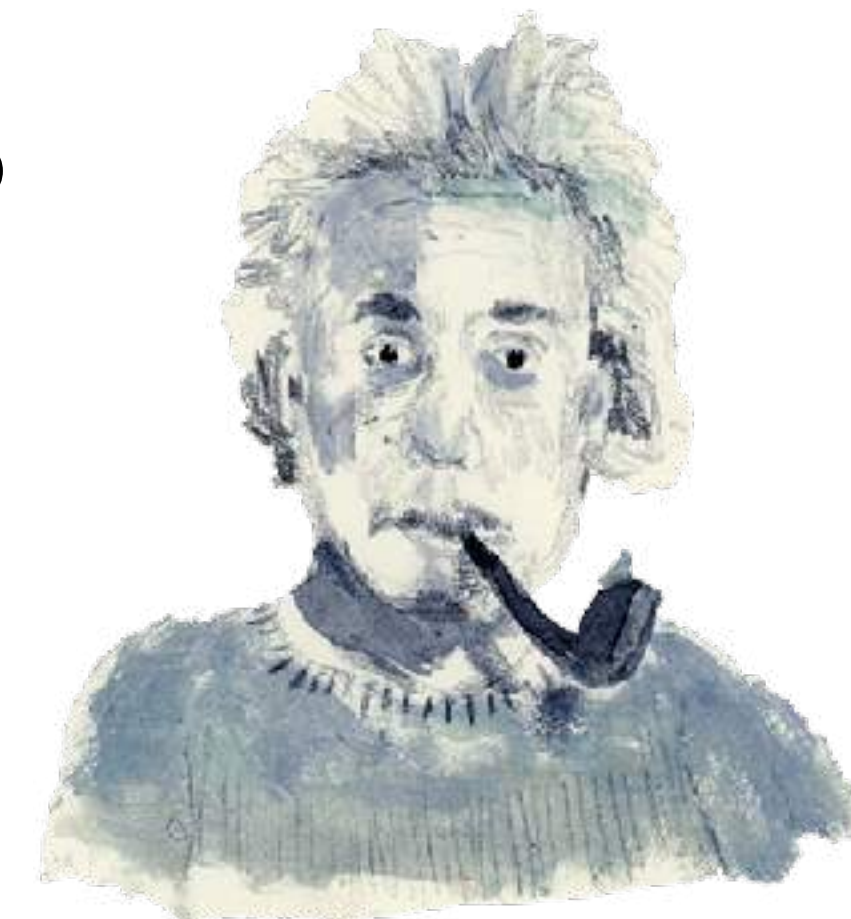
$$G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$



Relatividade Geral (1915)

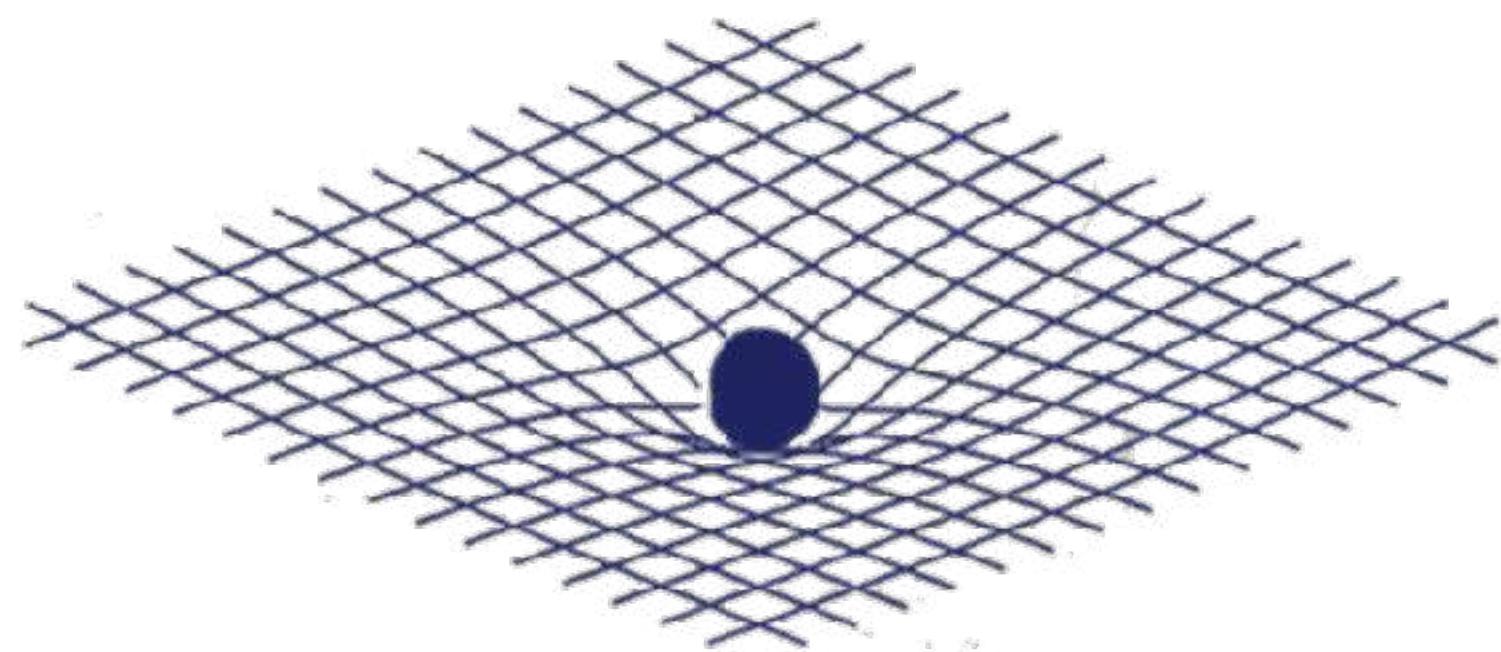


Equivalência entre a matéria contida no Universo e a sua geometria expressa pelas **Equações de Einstein**:

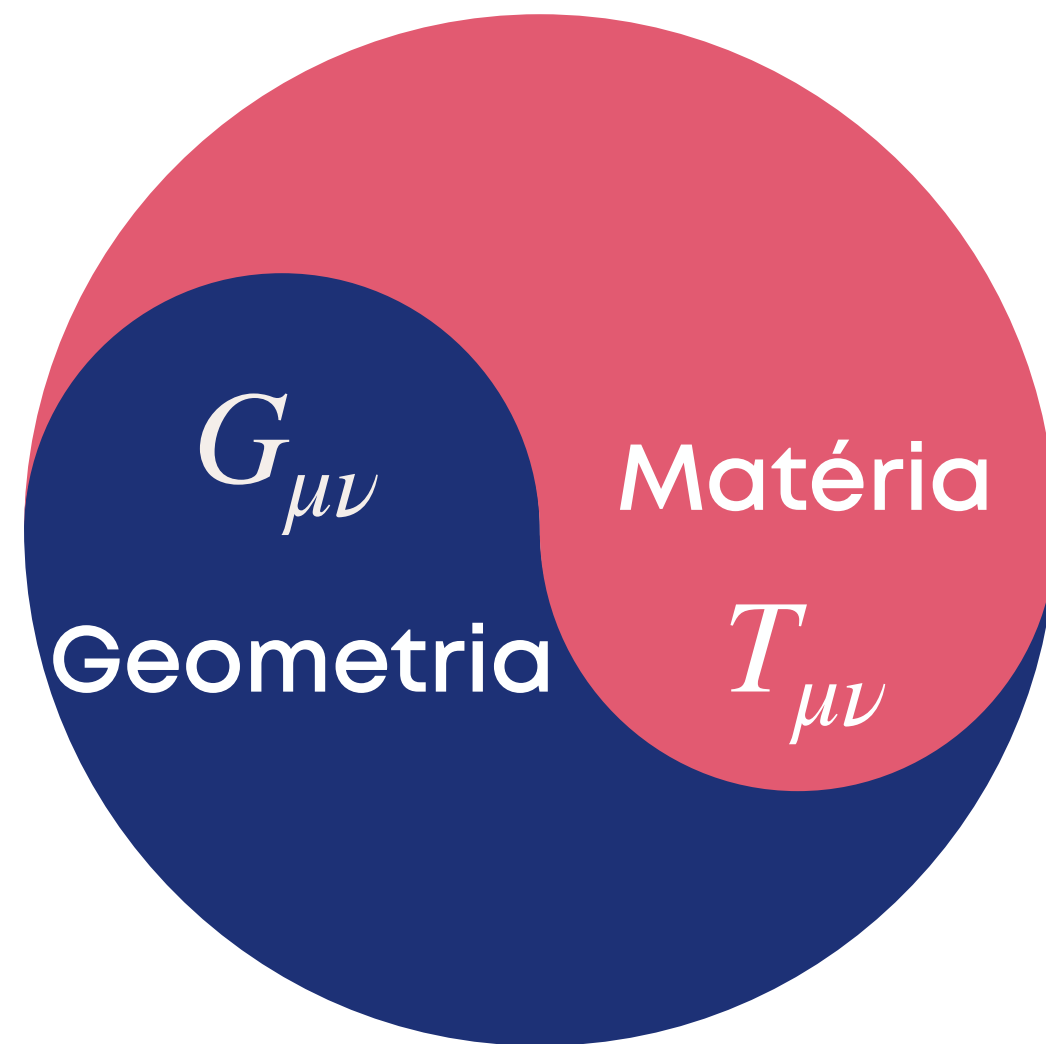


$$G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

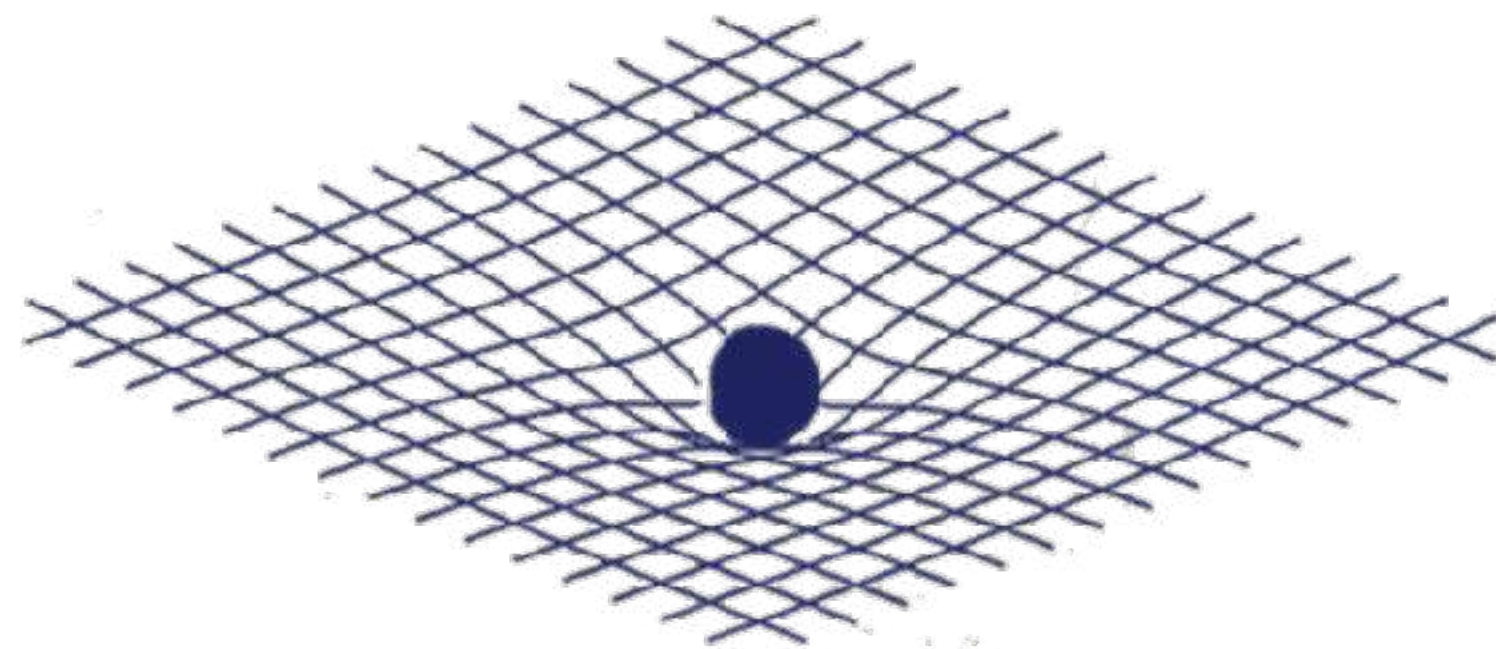
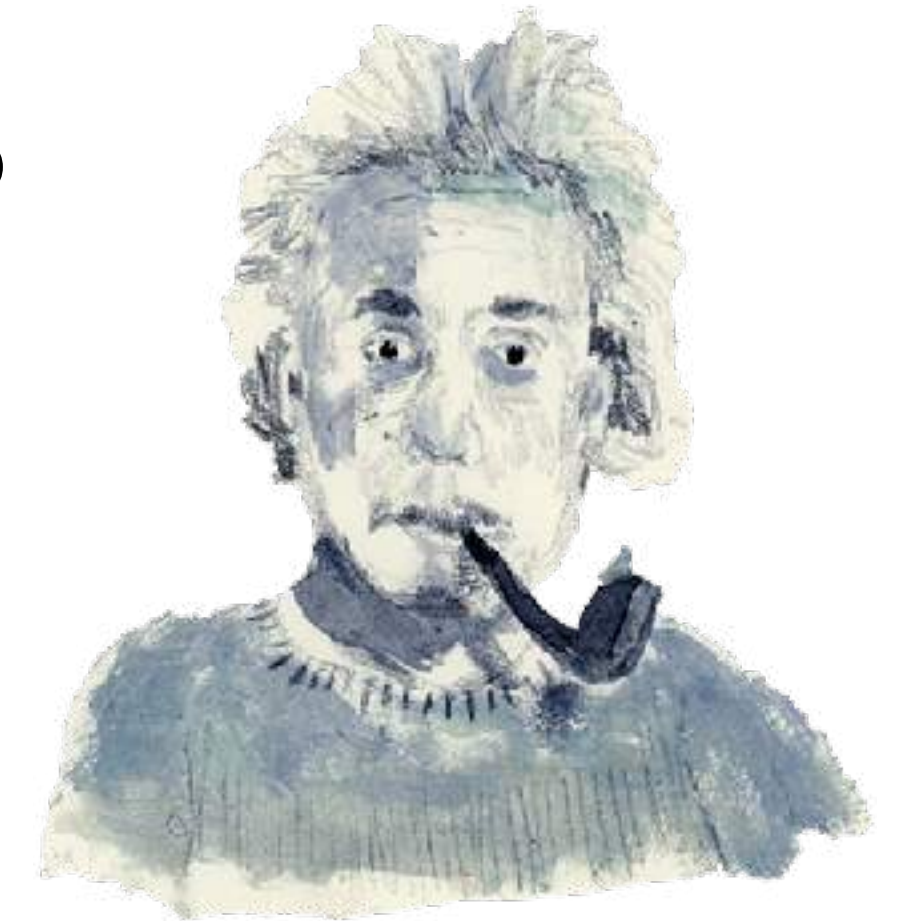
*Gravidade
Modificada*



Relatividade Geral (1915)



Equivalência entre a matéria contida no Universo e a sua geometria expressa pelas **Equações de Einstein**:



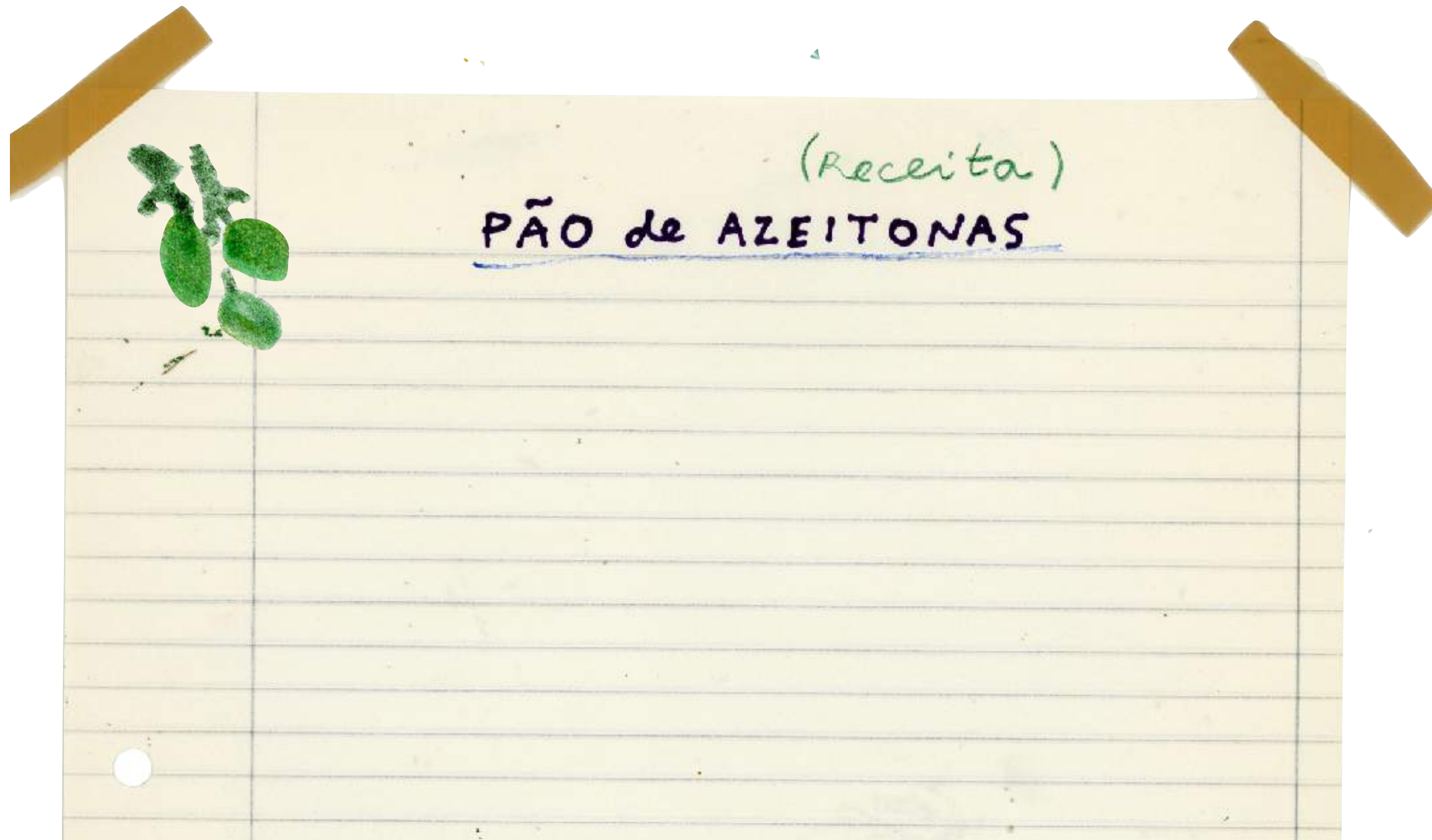
$$G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

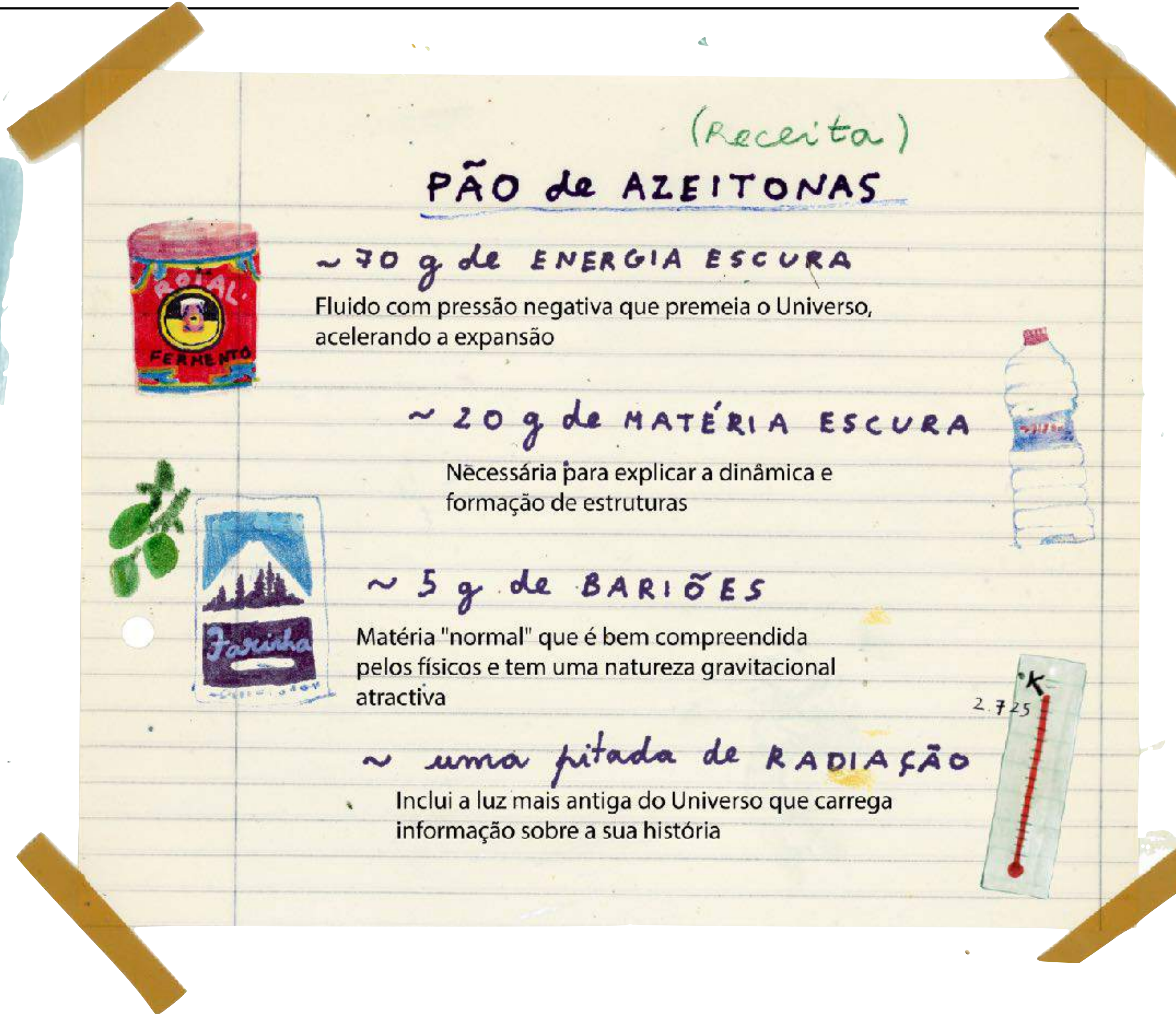
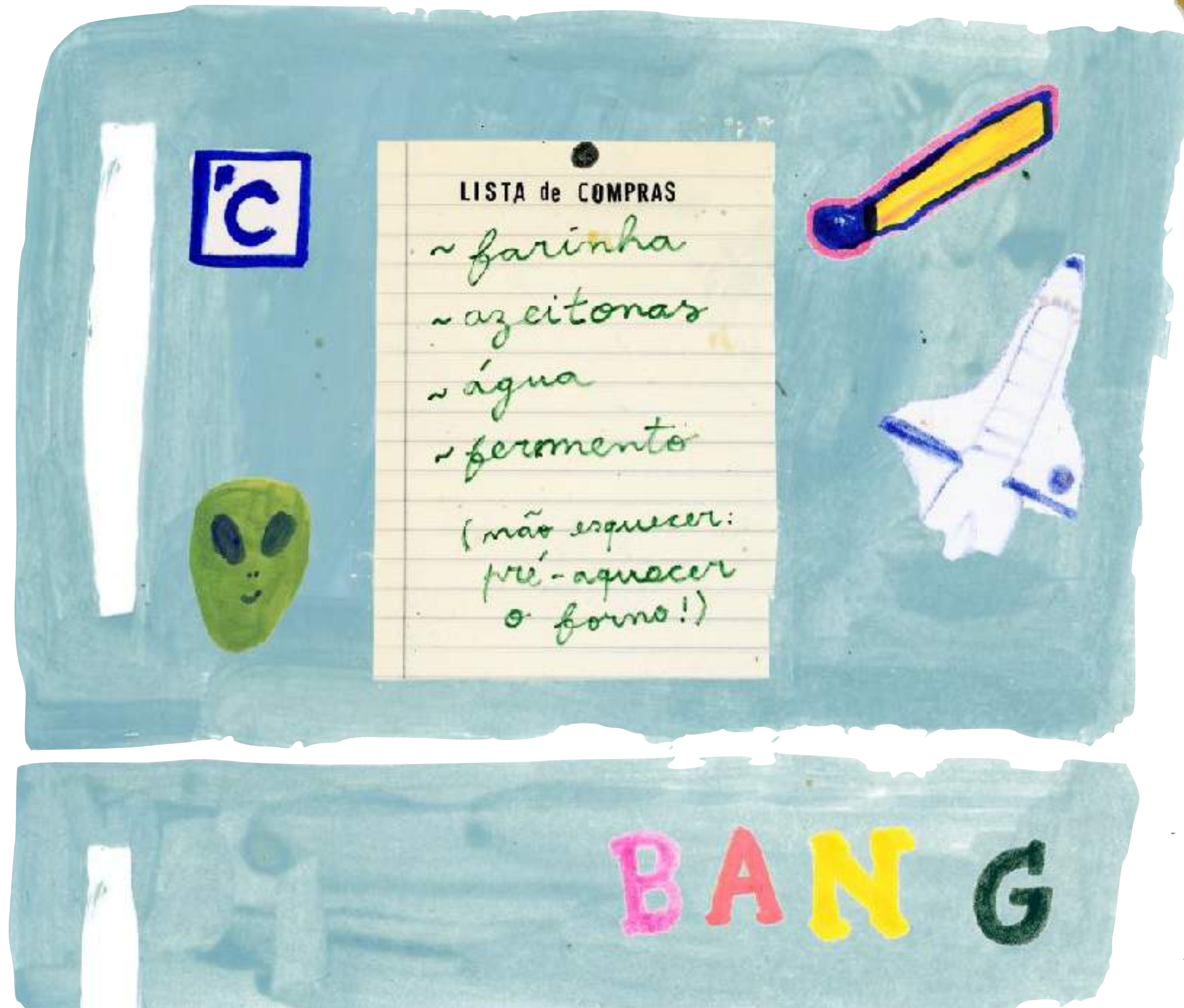
*Gravidade
Modificada*

*Energia
Escura*

Como preparar um Universo em Expansão?

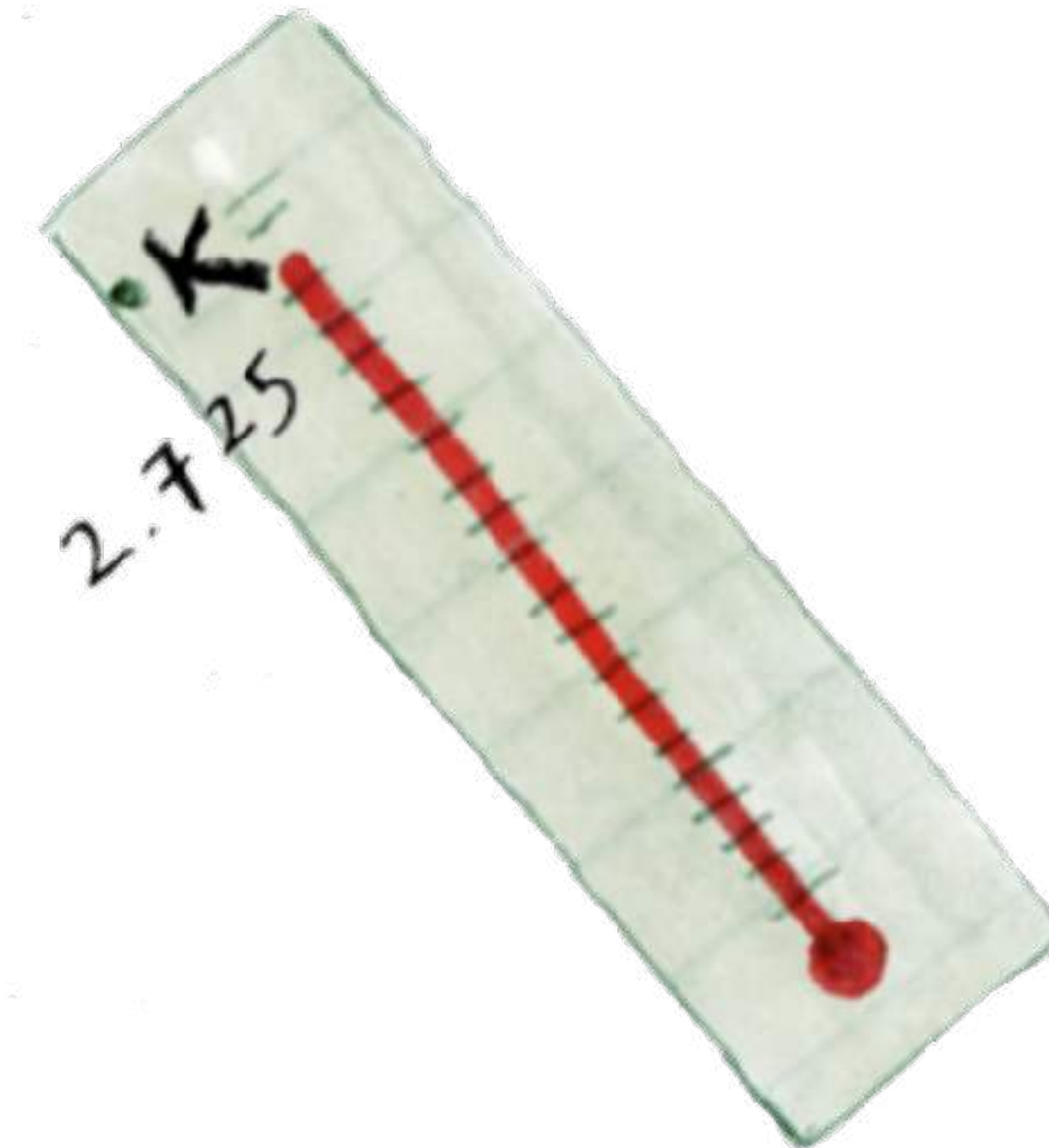
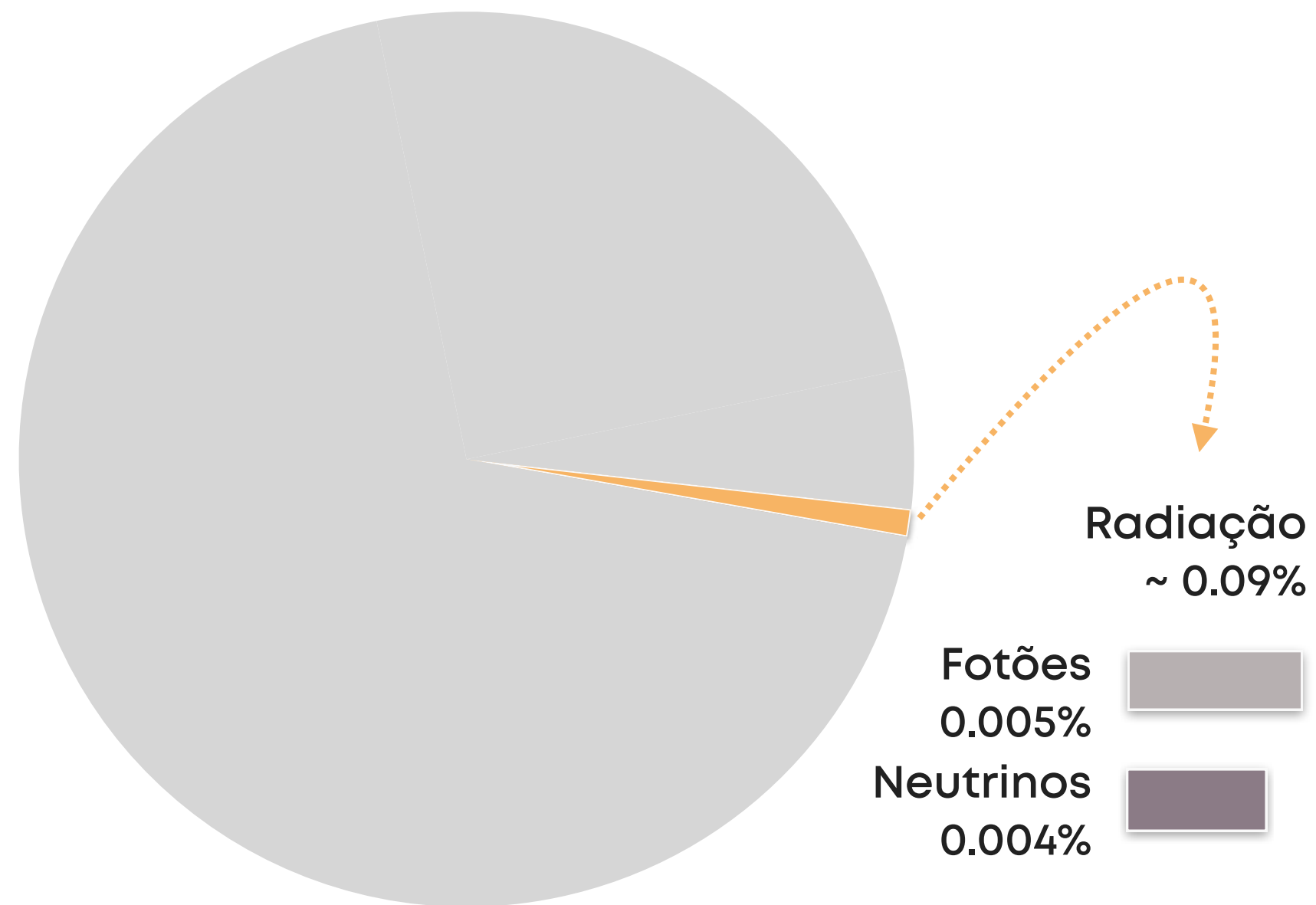
Ou então uma fatia de pão de azeitonas...





Radiação

Diferentes temperaturas geram pães com diferentes texturas, formas e sabores



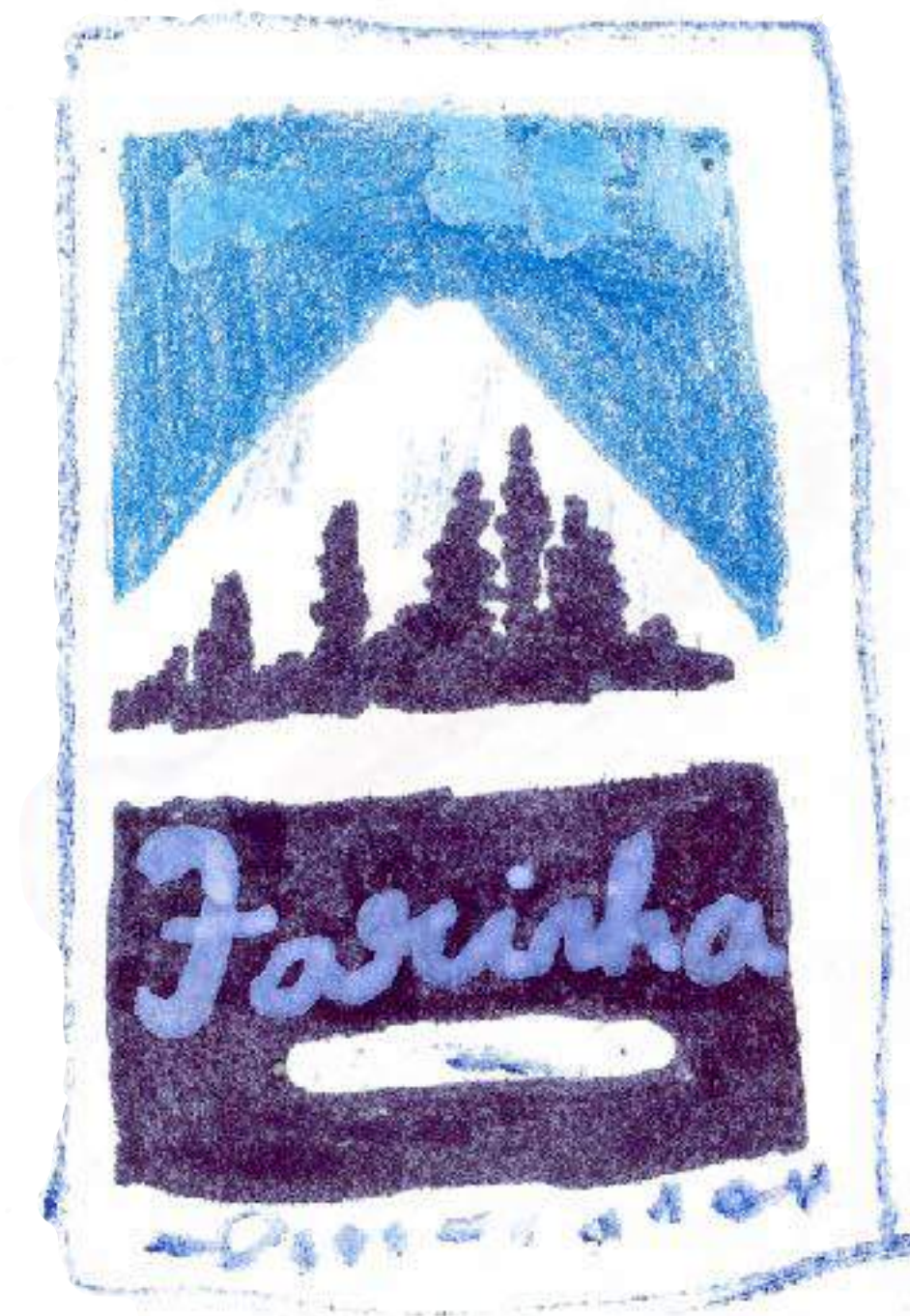
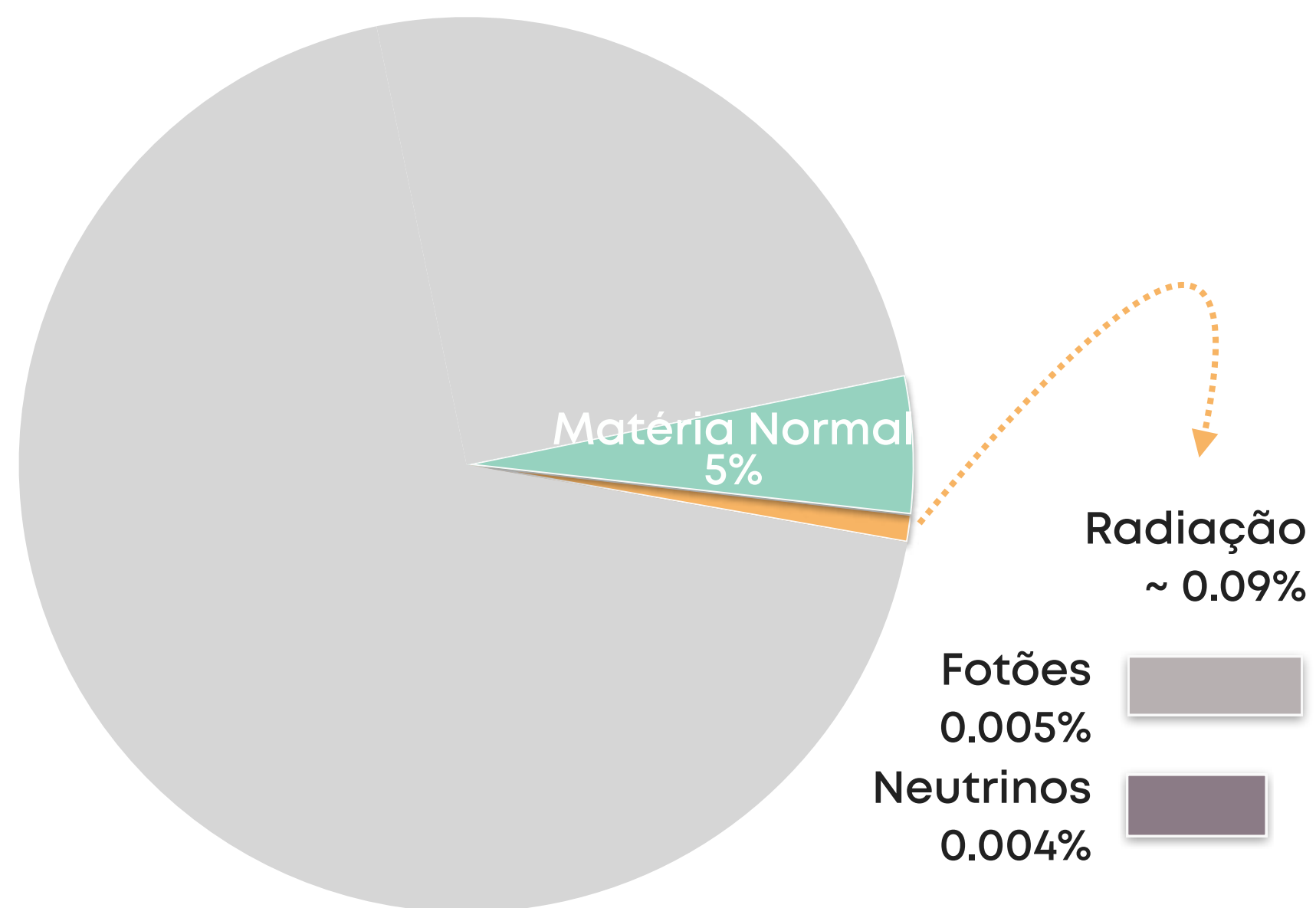
Em pouca abundância No Universo hoje mas **muito importante no passado**

Luz de todo o **espectro electromagnético** e neutrinos.

Inclui a radiação mais antiga do Universo - a **Radiação Cósmica de Fundo** – janela para o passado

Bariões

As azeitonas acompanham a expansão e dispersam-se e a farinha forma uma rede de agregados



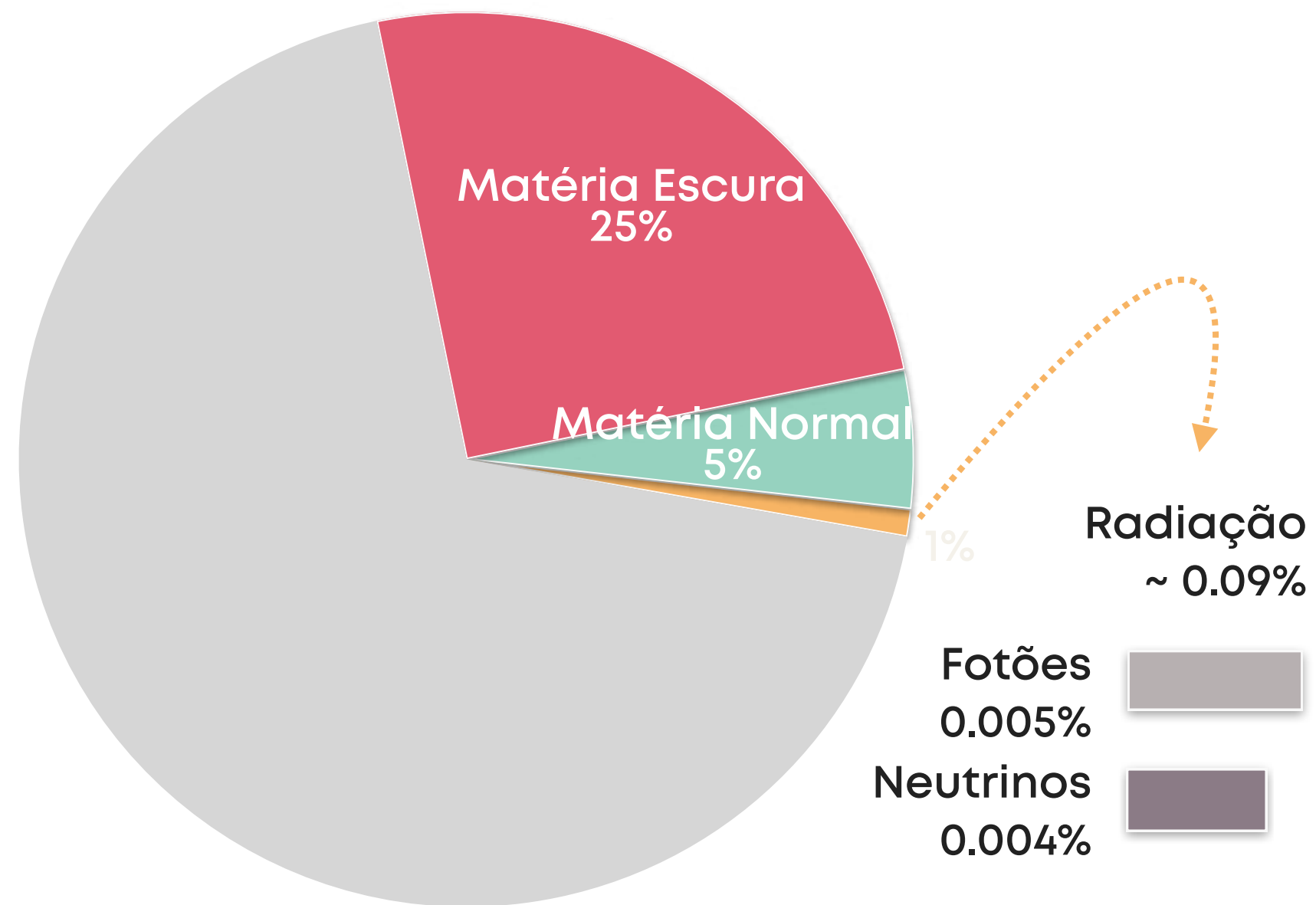
“**Matéria normal**” de que somos feitos e observamos (incluindo as estruturas do Universo)

Bem compreendida pelos físicos e **natureza gravitacional atractiva**

Podemos inferir a **abundância** de bariões no Universo pela teoria de formação nuclear

Matéria Escura

Não conseguimos ver a água depois da misturarmos na massa mas é o que liga os ingredientes



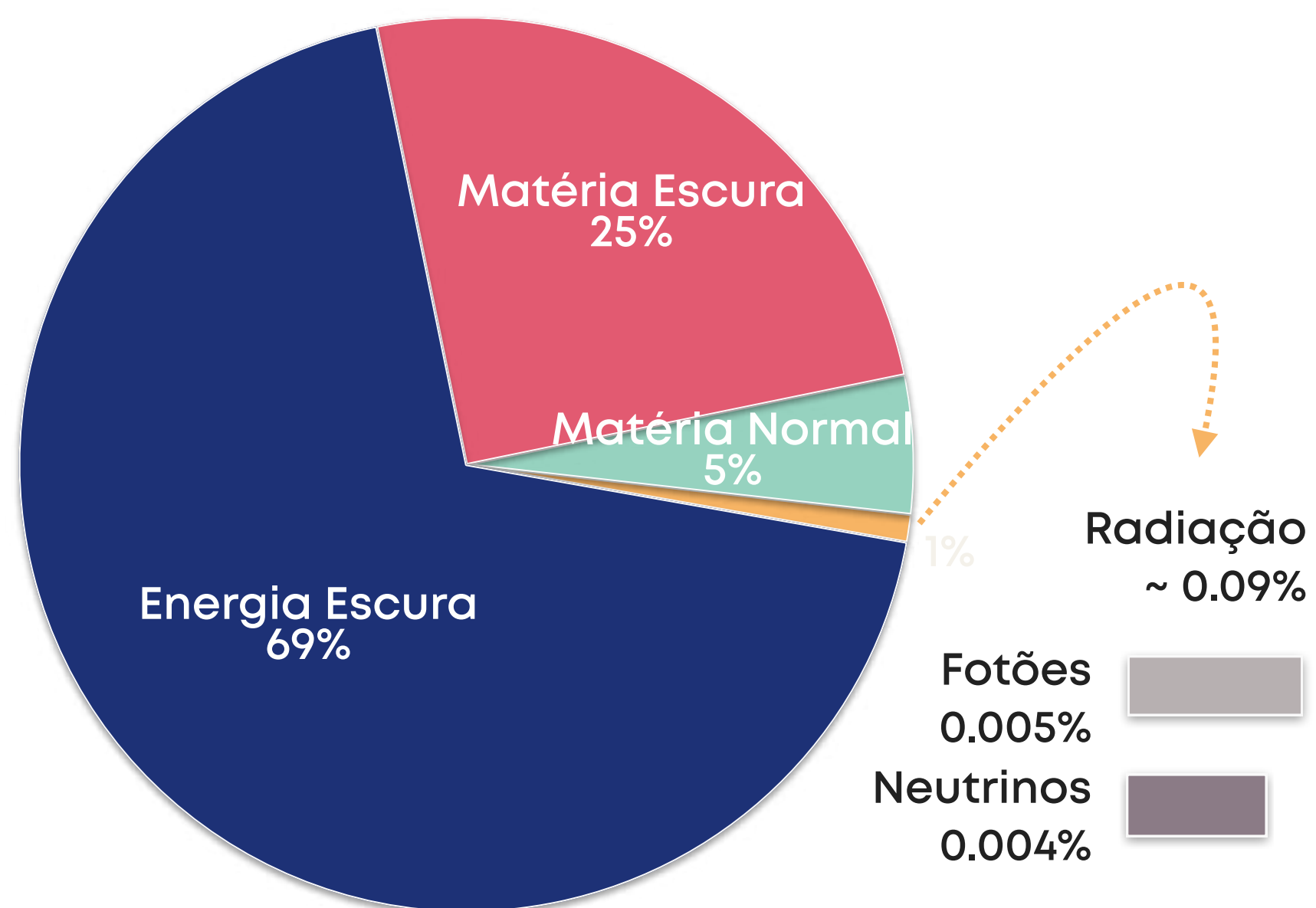
Necessária para explicar a **formação e dinâmica das galáxias**

Galáxias contêm mais **“massa escura”** do que aquela que se contabiliza com as estrelas visíveis

Matéria **não luminosa** - tem de interagir de forma muito fraca com a matéria visível

Energia Escura

O fermento faz o pão crescer, afastando as azeitonas umas das outras



Fluido com **pressão negativa** para contrabalançar a atracção gravítica e explicar a **aceleração**

Irrelevante nos momentos primordiais do Universo

~95% do Universo é “**escuro**” - não conhecemos a sua natureza

(Receita)

PÃO de AZEITONAS

Misturar todos os ingredientes com as azeitonas **bem distribuídas** por toda a massa.

Deixar levedar por cerca de **14 mil milhões de anos**.

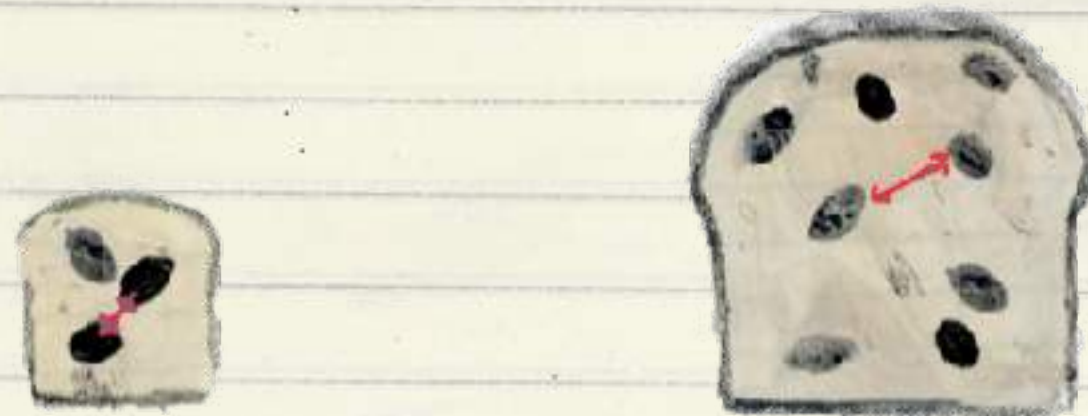


(Receita)
PÃO de AZEITONAS

Misturar todos os ingredientes com as azeitonas **bem distribuídas** por toda a massa.

Deixar levedar por cerca de **14 mil milhões de anos**.

À medida que a massa cresce, as azeitonas em si (tal como as galáxias no nosso Universo) não crescem, mas são **arrastadas pela expansão** do preparado, ficando cada vez mais **espalhadas e afastadas entre si** (tal como o espaço entre as galáxias).



(Receita)
PÃO de AZEITONAS

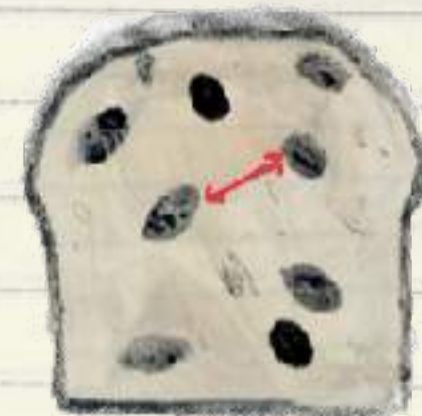
Misturar todos os ingredientes com as azeitonas **bem distribuídas** por toda a massa.

Deixar levedar por cerca de **14 mil milhões de anos**.

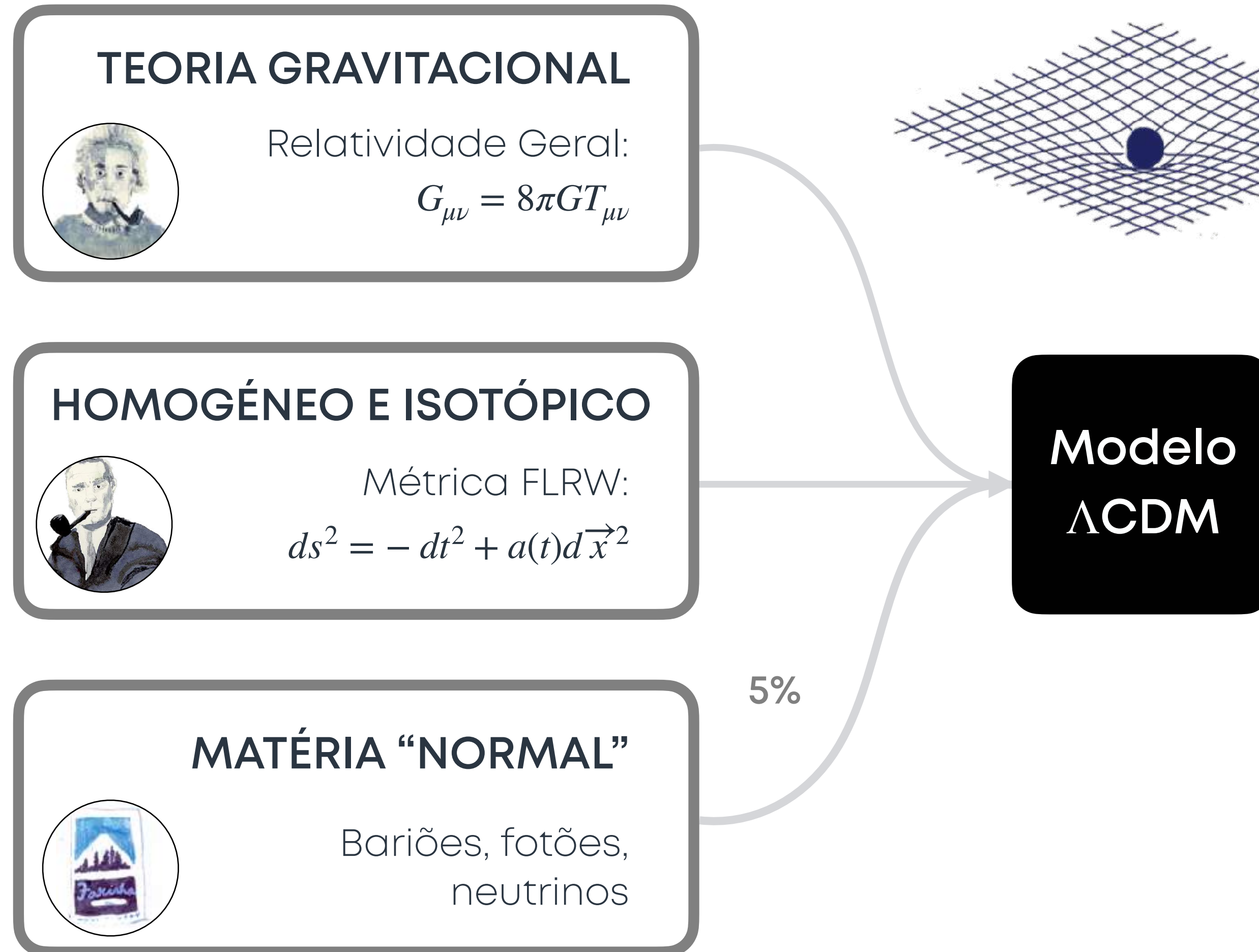
À medida que a massa cresce, as azeitonas em si (tal como as galáxias no nosso Universo) não crescem, mas são **arrastadas pela expansão** do preparado, ficando cada vez mais **espalhadas e afastadas entre si** (tal como o espaço entre as galáxias).

Cozinhar na **temperatura máxima** nos primeiros segundos e ir reduzindo gradualmente, rematando com cerca de **2.725 Kelvin**.

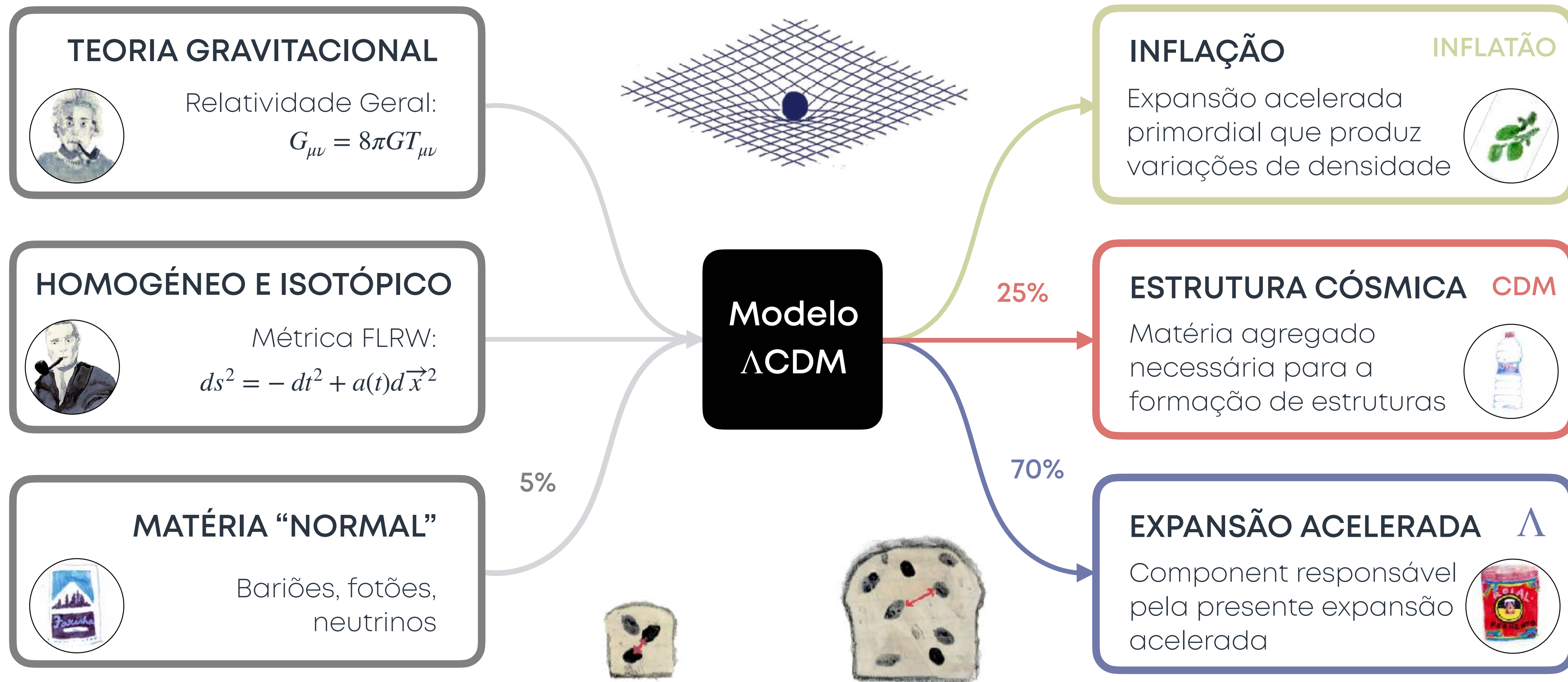
Sabe melhor quando acabado de sair do forno!



O Modelo Padrão da Cosmologia



O Modelo Padrão da Cosmologia

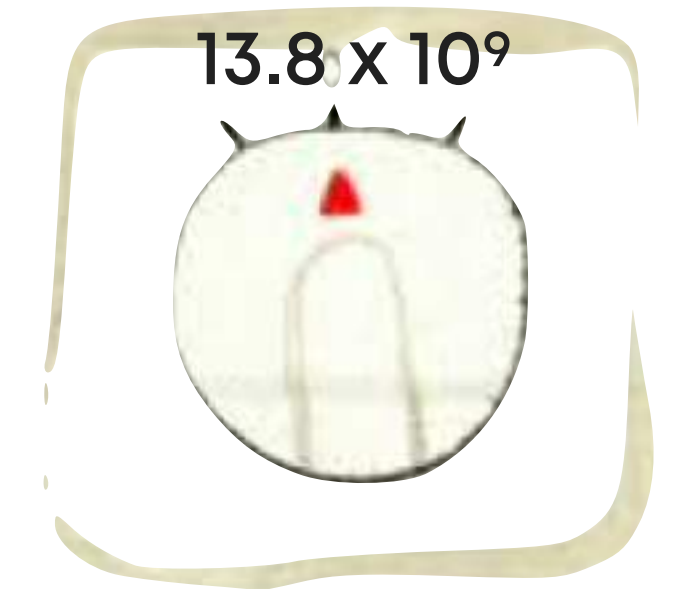


Investigação em Cosmologia

Mudar ligeiramente a receita resulta em pães diferentes...

- Proporções de ingredientes
- Levedação
- Tipo de farinha
- Tempo de cozedura

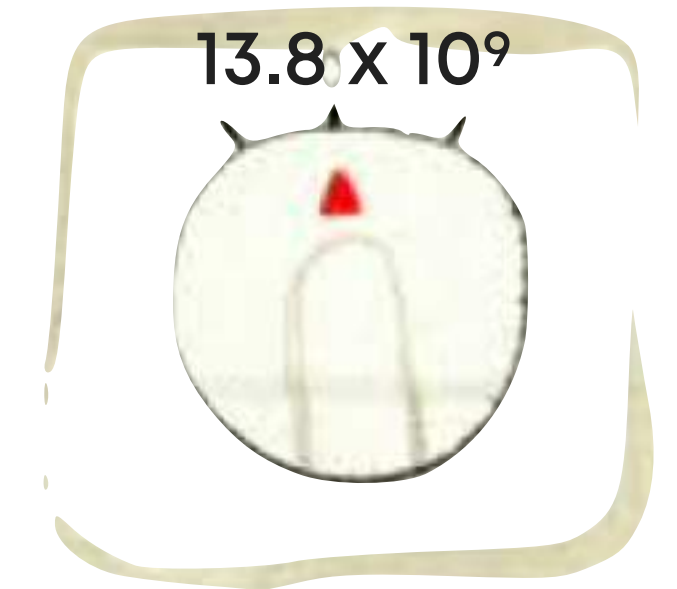
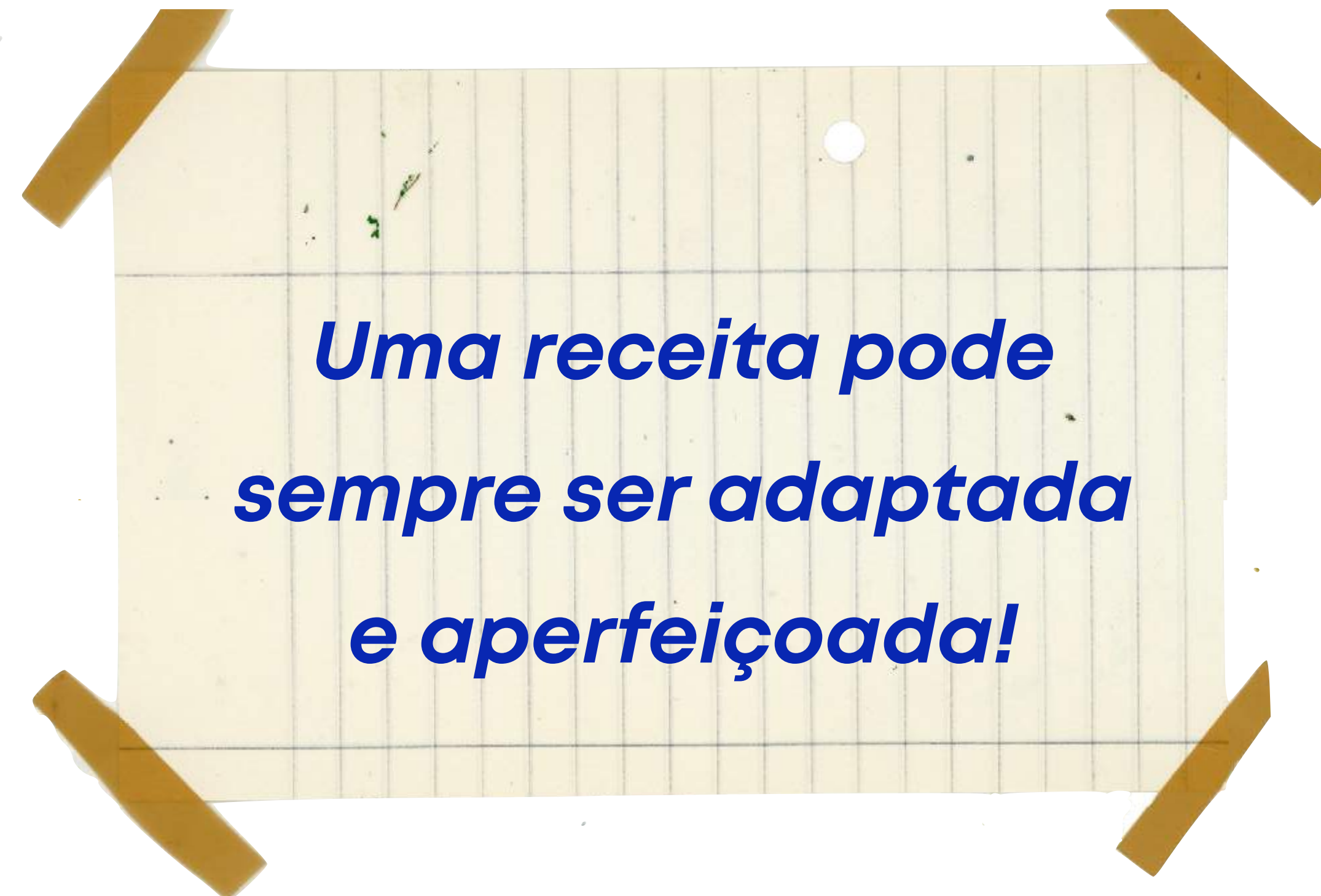
etc...



Investigação em Cosmologia

Mudar ligeiramente a receita resulta em pães diferentes...

- Proporções de ingredientes
 - Levedação
 - Tipo de farinha
 - Tempo de cozedura
- etc...



A watercolor illustration of a night sky. The background is a deep blue with white speckles representing stars. In the foreground, there are silhouettes of several people standing on a dark horizon line. To the right, several colorful spheres (red, yellow, blue, black) are hanging from thin lines. The overall mood is contemplative and artistic.

Obrigada! Perguntas?

Ilustrações: Inês Viegas Oliveira (ivoliveira.com)