

# MODELOS COSMOLÓGICOS COM MAIS DE UMA COMPONENTE PARA A DENSIDADE DE ENERGIA

Autores : Júlia Alves Galaxe, Nuno Henrique Fonseca Andrade  
Orientador: Felipe de Freitas Moura

Instituto Federal Fluminense, *campus* Bom Jesus do Itabapoana  
Avenida Dario Vieira Borges, 235 – Parque do Trevo – Bom Jesus do Itabapoana – RJ.  
CEP: 28360 - 000

[galaxe.julia@gsuite.iff.edu.br](mailto:galaxe.julia@gsuite.iff.edu.br) ; [nuno.andrade@gsuite.iff.edu.br](mailto:nuno.andrade@gsuite.iff.edu.br) ; [felipe.moura@iff.edu.br](mailto:felipe.moura@iff.edu.br)

## INTRODUÇÃO

Quando estudamos o universo em larga escala estamos estudando cosmologia. No contexto cosmológico, as equações de campo de Einstein podem ser usadas para encontrar uma relação entre a curvatura do universo e a densidade de energia e pressão dos conteúdos do universo. A equação que relaciona essas quantidades é chamada equação de Friedmann-Lemaître. Modelos cosmológicos com múltiplas componentes permitem uma maior compreensão do universo que vivemos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A equação de Friedmann-Lemaître fornece a relação entre a taxa de expansão do universo, sua densidade de energia e sua curvatura. Durante algumas épocas da expansão do universo, dois de seus componentes considerados (matéria, radiação e constante cosmológica) terão densidades comparáveis e fornecerão termos de pesos equivalentes na equação de Friedmann-Lemaître. Durante estas épocas, um modelo de universo de uma única componente é uma descrição pobre para o universo e um modelo com duas ou mais componentes deve ser utilizado. A partir da equação de Friedmann-Lemaître, descrevemos a evolução temporal através do fator de escala. Este último é uma função que nos diz como a expansão ou contração do universo depende do tempo. Observamos analiticamente e graficamente o comportamento do fator de escala para modelos com curvatura diversa e componentes diversos para a densidade de energia.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No modelo plano somente com matéria o universo se expande eternamente causando diminuição de sua temperatura, destino conhecido como "Big Chill". Para o modelo com matéria e curvado o destino final é relacionado com a densidade de energia e curvatura do universo; universos com matéria e curvatura negativa possuem o mesmo destino do universo com matéria e plano, o "Big Chill".

Universos com curvatura positiva e matéria possuem um destino conhecido como "Big Crunch", onde o universo alcança um tamanho máximo e colapsa novamente. O comportamento do fator de escala,  $a$ , em função do tempo,  $t$ , de Hubble (um tempo de Hubble tem 14 bilhões de anos) pode ser visto na Figura 1; onde a linha sólida representa um universo positivamente curvado, a linha pontilhada representa um universo plano e a linha tracejada representa um universo negativamente curvado. Um universo plano que contém matéria e uma constante cosmológica - sendo a última componente responsável pela expansão acelerada observada hoje e de natureza desconhecida - é de especial interesse, uma vez que este universo parece ser a mais próxima aproximação para nosso próprio universo no presente dia. Se a constante cosmológica for positiva o universo irá continuar se expandindo se estiver se expandindo hoje, um outro exemplo de universo "Big Chill". Para o caso de uma constante cosmológica negativa o universo irá se colapsar num "Big Crunch" de forma semelhante a um universo positivamente curvado com matéria porém num tempo quinze vezes mais curto. Os dados observacionais indicam que vivemos num universo com constante cosmológica positiva. Inserindo estes dados obtemos aproximadamente 13,5 bilhões de anos para a idade atual do universo.

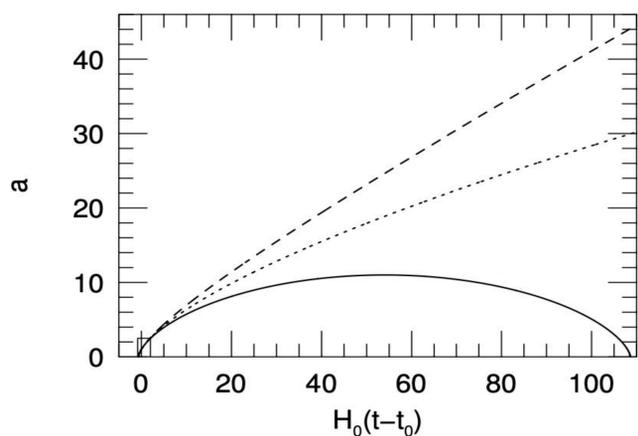


Figura 1

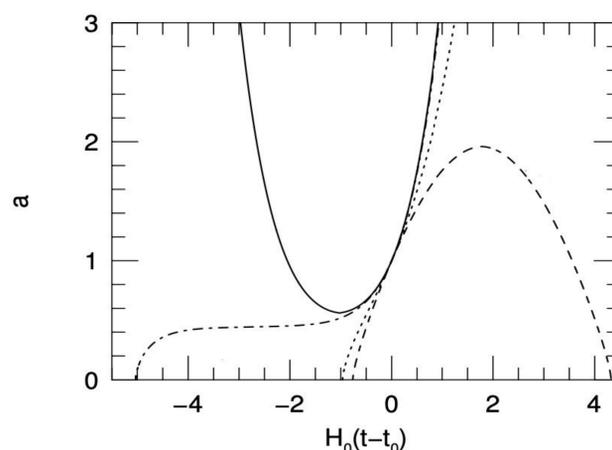


Figura 2

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um universo contendo matéria, constante cosmológica e com curvatura possui uma ampla gama de comportamentos permitidos para o fator de escala,  $a$ , em função do tempo,  $t$ , como pode ser visto na Figura 2. A linha sólida representa um universo "Big Bounce", um universo que está se expandindo hoje porém nunca passou por um Big Bang; a linha pontilhada representa um universo "Big Chill"; a linha tracejada representa um universo "Big Crunch" e a linha ponto e traço representa um universo "Loitering", o fator de escala é aproximadamente constante por um longo período de tempo. A radiação foi a componente dominante no universo nos primeiros 47000 anos, o que justifica não levarmos em consideração este componente no cálculo da idade do universo. Dessa forma, constatamos que ao considerar a matéria e a constante cosmológica como constituintes básicos, estamos descrevendo a maior parte da evolução do universo com boa aproximação.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFFluminense, pelo acesso aos meios digitais fornecidos, assim como o apoio da Diretoria de Pesquisa, Inovação, Internacionalização e Extensão, do IFFluminense, *campus* Bom Jesus do Itabapoana. Agradecemos, também, à FAPERJ pela bolsa concedida dentro do Programa Jovens Talentos.

## REFERÊNCIAS

- [1] WAGA, Ioav. Cem anos de descobertas em cosmologia e novos desafios para o século XXI. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v.27, n.1, p.157-173, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v27n1/a18v27n1.pdf>. Acesso em 16 out. 2021.
- [2] PORTO, C.M.; PORTO, M.B.D.S.M. A evolução do pensamento cosmológico e o nascimento da ciência moderna. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v.30, n.4, p. 4601.1-4601.9, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v30n4/v30n4a15.pdf>. Acesso em 16 out. 2021.