A expansão do Universo e sua geometria

VINÍCIUS SIMÕES ADERALDO[1];
VICTOR PAULO GONÇALVES[2]

[1]*Universidade Federal de Pelotas – vini.aderaldo@gmail.com*
[2]*Universidade Federal de Pelotas – barros@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

Através de anos de investigação científica concernentes ao comportamento do Universo com o decorrer do tempo, chegou-se, através de observações, a conclusão de que o Universo está em expansão. O fato de sabermos que o Universo está em expansão é devido a estudos executados inicialmente pelo astrônomo Edwin Powell Hubble (WAGA, 2000).

Após Hubble ter chegado a tal conclusão, surge outro questionamento: a expansão permanecerá constante ou há uma taxa com que o Universo se modifica?

Essa pergunta é razoável, já que sabemos, pela Lei da Gravitação, que corpos se atraem de forma proporcional ao produto de suas massas, ou seja, devido à gravidade, a expansão deveria ser retardada. Mas essa gravidade seria suficiente para reverter a expansão ou ela continuaria para sempre? Para respondermos isso utilizamos a equação de Friedmann (LIDDLE, 2003)

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right) = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{k}{a^2}$$

onde *G* é a cosntante gravitacional, ρ é a densidade de matéria, a é o fator de escala do Universo (mede a taxa de expansão do Universo) e *k* é o termo de curvatura do Universo e define o tipo de geometria deste: plana (*k* = 0), esférica (*k* > 0) ou hiperbólica (k < 0) (LIDDLE, 2003).

Neste trabalho iremos solucionar a Equação de Friedmann para diferentes valores do termo de curvatura (*k*) e, a partir disso, analisar as possíveis geometrias para o Universo como consequência de tais valores.

2. METODOLOGIA

Para a obtenção dos conhecimentos adquiridos fizemos estudos de referências básicas associadas ao projeto em questão e executamos os cálculos presentes nestas com foco na dedução analítica e numérica da equação de Friedmann. Além disso, obtivemos a solução desta equação considerando diferentes valores para o termo de curvatura do Universo com o intuito de vizualizar as implicações das possíveis geometrias do Universo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através de um estudo introdutório sobre a expansão do Universo, fizemos as deduções da Lei de Hubble e a partir desta, expandimos a investigação deduzindo e trabalhando na equação de Friedmann. Analisando esta equação no contexto da relatividade geral, tem-se que esta se relaciona com a curvatura do espaço (LIDDLE, 2003).

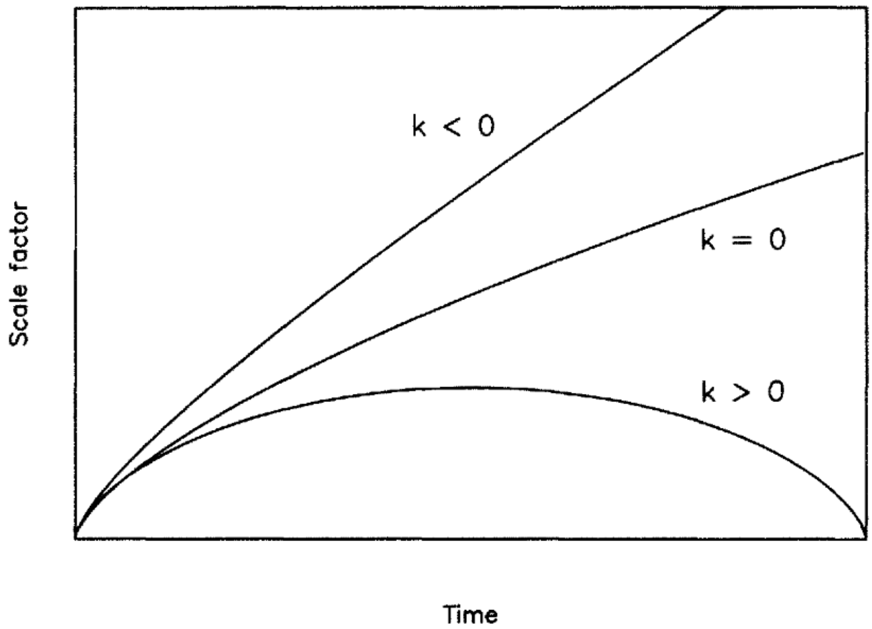

Figura 1: O gráfico apresenta as curvas do fator de escala em função do tempo para diferentes valores de k (LIDDLE, 2003).

Podemos observar, de acordo com a Figura 1, os resultados obtidos a partir da equação de Friedmann para diferentes valores de *k.* Nota-se que para $k > 0$, a expansão atingiria um fator de escala máximo e então começaria a diminuir, ou seja, a expansão teria o sentido invertido em um processo chamado de *Big Crunch.* Para os outros dois valores de *k* o comportamento do fator de escala com o tempo é distinto. Em particular, suas predições quando o tempo tende a infinito é radicalmente distinto. Podemos ainda observar que quando o tempo tende a zero a curvatura do Universo não é mais um fator importante.

O comportamento obtido para a evolução temporal do fator de escala está estritamente relacionado com a geometria do Universo. Considerando que o Universo é homogêneo e isotrópico, a sua geometria pode ser classificada da seguinte forma:

- $k > 0$, no qual chamamos de *Geometria Esférica*. Nesta geometria podemos afirmar a sua isotropia, além disso, podemos notar (imaginando uma esfera, como o próprio nome sugere) que esta possui tamanho limitado, ou seja, não há borda; logo, podemos ainda denominá-la *Universo Fechado*.

- $k < 0$, no qual chamamos de *Geometria Hiperbólica*. Neta geometria, também podemos afirmar sua isotropia e como duas retas nunca se encontram, podemos afirmar que esta geometria é infinita e, por isso, denominamos *Universo Aberto*.

- $k = 0$, no qual chamamos de *Geometria Plana.* Nesta geometria, da mesma forma que as outras, podemos afirmar acerca da sua isotropia e como o termo de curvatura é zero, podemos afirmar também que a curvatura deste modelo é nula.

4. CONCLUSÕES

A partir da equação de Friedmann, podemos extrair (sem que haja violação da isotropia) que há três possibilidades de geometria para o Universo de acordo com os valores de *k.* Resultados experimentais indicam que $k = 0$, ou seja, que o Universo é plano. Como próximo passo, iremos expandir nossos estudos no que diz respeito ao tipo de matéria presente no Universo primordial, analisando as implicações dessa hipótese para com a expansão do Universo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIDDLE, A. . **An Introduction to Modern Cosmology**. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2003.

TIPLER, P.A., *et al*. **Física Moderna**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

WAGA, I. . A expansão do Universo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, v.22, n.2, p. 163 - 175, 2000.

BERTULANI, C.A. . **Nuclei in Cosmos**, World Scientific, 2013.