



**FACULDADE DE EDUCAÇÃO E MEIO AMBIENTE**

**RAYRISON TOBIAS COSTA**

**BIG BANG: A EVOLUÇÃO DO PENSAMENTO COSMOLÓGICO**

ARIQUEMES – RO

2013

**Rayrison Tobias Costa**

**BIG BANG: A EVOLUÇÃO DO PENSAMENTO COSMOLÓGICO**

Monografia apresentada ao curso de Licenciatura em Física da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, como requisito parcial a obtenção do grau de Licenciado em: Física.

Orientador: Prof.Ms.Gustavo José

Ariquemes – RO

2013

Rayrison Tobias Costa

## **BIG BANG: A EVOLUÇÃO DO PENSAMENTO COSMOLÓGICO**

Monografia apresentada ao curso de Licenciatura em Física da Faculdade de Educação e Meio Ambiente como requisito parcial à obtenção do Grau de Licenciado.

### **COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Orientador: Prof.Ms. Gustavo José Farias  
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

---

Prof. Esp. Isaias Fernandes Gomes  
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

---

Prof<sup>a</sup>. Ms. Filomena Maria Minetto Brondani  
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

Ariquemes, 11 de Novembro de 2013

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar ao meu pai e minha mãe, Antônio e Marlene, que possibilitaram a minha entrada no ensino superior e sempre me incentivaram nos estudos.

Agradeço também ao meu professor e orientador deste trabalho Gustavo José Farias.

Deixo também meus agradecimentos a todos os professores que contribuíram com minha formação acadêmica. Em especial agradeço ao professor e amigo Thiago Jorge Nunes que foi quem despertou em mim esse fascínio latente pela cosmologia e também contribuiu para a construção deste trabalho. Ainda entre os professores, agradeço imensamente a professora Rosane Alves que serve de inspiração pela sua sabedoria e simplicidade e que também colaborou para a produção deste estudo.

A todos os amigos de Química e Física que iniciaram essa jornada de 4 anos comigo.

Por fim, a Bruna Estefani, Jackson Facco e Larissa Cordeiro que são três amigos muito especiais.

É muito melhor compreender o universo como ele realmente é do que persistir no engano, por mais satisfatório e tranquilizador que possa parecer.

(Carl Sagan)

## RESUMO

O presente estudo trata-se de uma revisão bibliográfica sobre a evolução das teorias cosmológicas, partindo do universo estático e eterno, chegando ao universo expansionista e finito no tempo, colocando em destaque a Teoria do Big Bang e seu processo de amadurecimento. Para isso, são elencadas todas as principais contribuições dadas pela teoria expansionista do universo. Um enfoque especial é dado, também, no conflito do século passado entre as teorias do Big Bang e do Estado Estacionário. Através dos dados levantados é possível verificar como é importante a parceria entre teoria e observação para consolidação de uma nova teoria. Conclui-se com a importância que tem o estudo e a divulgação sobre a origem do universo que aos poucos está sendo desvendada.

**Palavras-chave:** Cosmologia, Big Bang, Universo, Estado Estacionário.

## ABSTRACT

The present study deals with a literature review on the evolution of cosmological theories, based on the static and eternal universe and the universe coming expansionist and finite in time. Putting the spotlight on the Big Bang Theory and its ripening process. To do so, are listed all the major contributions made by the theory expansion of the universe. A special focus is given, too, in the last century conflict between the theories of the Big Bang and Steady State. Through the data collected is possible to verify how important the partnership between theory and observation for the consolidation of a new theory. It concludes with the importance of disclosure and the study of the origin of the universe that is slowly being unraveled.

**Keywords:** Cosmology, Big Bang, Universe, Steady State.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 –Gravura de Flamarion .....	13
Figura 02 – Modelo geocêntrico .....	14
Figura 03 –Movimento do epiciclo sobre o deferente .....	15
Figura 04 – Modelo Heliocêntrico .....	17
Figura 05 – Gráfico evolução do universo em função do tempo .....	22

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	09
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	11
2.1. OBJETIVO GERAL .....	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	12
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	13
4.1. AS PRIMEIRAS IMPRESSÕES SOBRE O UNIVERSO .....	13
4.1.1. O modelo geocêntrico .....	14
4.1.2. O modelo heliocêntrico .....	16
4.1.3. Gravitação universal .....	18
4.2. A RELATIVIDADE DE ALBERT EINSTEIN .....	19
4.2.1. A constante cosmológica e o universo estático .....	21
4.3. O TAMANHO DO UNIVERSO .....	23
4.4. A TEORIA DO BIG BANG .....	24
4.4.1. Lei de Hubble: universo em expansão .....	26
4.4.2. Abundância dos elementos leves .....	28
4.5. A TEORIA DO ESTADO ESTACIONÁRIO .....	30
4.6. BIG BANG VERSUS ESTADO ESTACIONÁRIO .....	31
4.6.1. O fim da controvérsia: radiação cósmica de fundo .....	32
4.7. O BIG BANG É A TEORIA PERFEITA? .....	34
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	36
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	37

## INTRODUÇÃO

De todos os campos da Ciência, a Cosmologia parece ser um dos ramos que mais desperta os interesses e as reflexões humanas. As indagações sobre um Universo eterno ou efêmero, finito ou não, dominaram as discussões científicas dos principais pesquisadores da área. Atualmente existe um consenso na comunidade científica em aceitar como fonte de respostas a tais questionamentos a teoria do Big Bang, proposta pelo padre e cosmólogo belga Lemaître em 1927. (NEVES, 2000a).

O modelo do Big Bang sugerido por Lemaître defende a ideia de um Universo em evolução criado a cerca de 13,7 bilhões de anos. Cabe ressaltar que o modelo atualmente vigente tem um formato diferente do que foi inicialmente apresentado por Lemaître. É creditado ao padre belga o título de autor da teoria por ter sido o primeiro a supor um Universo criado a partir de um momento inicial, contradizendo os modelos rivais que apontavam para um universo estacionário e eterno. A teoria do Big Bang preenche de maneira satisfatória as principais lacunas deixadas pelos outros modelos além de cumprir com suas previsões e por isso é amplamente aceita na comunidade especializada. (OLIVEIRA FILHO; SARAVA, 2013).

Contudo, referir-se a aceitação da teoria do Big Bang de forma tão simples é de certo modo imprudente, visto que como qualquer nova teoria ela teve que passar pelo crivo da comunidade científica. Foi bastante conturbado o processo de substituição do paradigma anterior, Universo estacionário, para o novo paradigma de Universo em evolução. Esse processo é frequentemente denominado como “O Grande debate”. (SINGH, 2010).

A finalidade do presente estudo é elencar os pontos principais que favoreceram a teoria do Big Bang a se firmar como modelo cosmológico padrão. Pretende-se também retratar as dificuldades em estabelecer um novo paradigma, especificamente a teoria do Big Bang, demonstrando o árduo caminho encontrado pelos defensores da ideia de Lemaître em vencer o paradigma anterior e principalmente vencer os seus defensores. Buscando o contexto científico em que essa teoria foi inserida serão elencadas não somente as contribuições para sua consolidação no âmbito da Física, mas também o impacto provocado no meio científico por cada nova descoberta.

Henrique e Silva (2009) defendem a inclusão do contexto em que é construído o conhecimento científico na formação de licenciados. Segundo os autores isso favorece a melhor compreensão dos fenômenos de modo que possibilita o conhecimento completo do assunto. Esse princípio poderia ser estendido não só para formação de licenciados, mas também para a formação do pensamento científico de qualquer pessoa. A contextualização do processo de

construção do conhecimento científico é também amplamente defendida pelos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. (BRASIL, 2008).

A justificativa para a escolha do tema vem da importância que tal tema tem em promover a Ciência Física, visto que o cosmos tem o poder de exercer fascínio e intrigar a mente humana servindo, então, como motivação à pesquisa e como fonte de novas descobertas. Vem também do interesse particular em por em evidência todo o enredo que envolve a aceitação de uma nova teoria, de revelar os caminhos que por muitas vezes foram dramáticos, como no caso de Galileu Galilei que se viu obrigado a renegar suas ideias em virtude de sua própria vida, que antecede a aprovação de novos modelos e que raramente são retratados com a importância que se deve.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1.OBJETIVO GERAL

Descrever os principais fatores que favoreceram a teoria do Big Bang em se estabelecer como nova teoria cosmológica.

### 2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Salientar os pontos que possibilitaram a substituição do modelo de Universo eterno para o modelo de Universo em evolução;
- Discorrer sobre o processo de fortalecimento da teoria do Big Bang concomitante ao enfraquecimento das teorias rivais;
- Evidenciar o contexto histórico-científico em que foi incluída a teoria do Big Bang e as implicações de seus apontamentos no meio científico.

### **3. METODOLOGIA**

O presente estudo trata-se de uma revisão bibliográfica sobre os principais aspectos da teoria do Big Bang. Para conseguir obter os resultados desejados foram utilizados artigos, livros, periódicos entre outras fontes. Os anos das obras utilizadas variam de 1994 a 2013 e foram coletados nas bases de dados Scielo e Google Acadêmico. Os descritores usados foram Big Bang, universo, relatividade, Estado Estacionário e cosmologia.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1. AS PRIMEIRAS IMPRESSÕES SOBRE O UNIVERSO

Desde os tempos mais remotos a humanidade buscou meios de entender os mecanismos de formação e movimento do Universo, contudo, antes que a investigação sobre sua gênese fosse posta em foco, muito se especulou a respeito de sua organização, em relação a localização dos astros e qual lugar pertenceria a Terra. (PORTO; PORTO, 2008).

A figura 01 é uma gravura do século XIX pintada por Flamarion com intuito de demonstrar o interesse humano pelo firmamento. A esquerda do quadro é possível observar um “curioso” que busca romper a esfera das estrelas fixas e verificar de que maneira ocorrem os movimentos lunares, do Sol e dos demais planetas (STEINER, 2006).

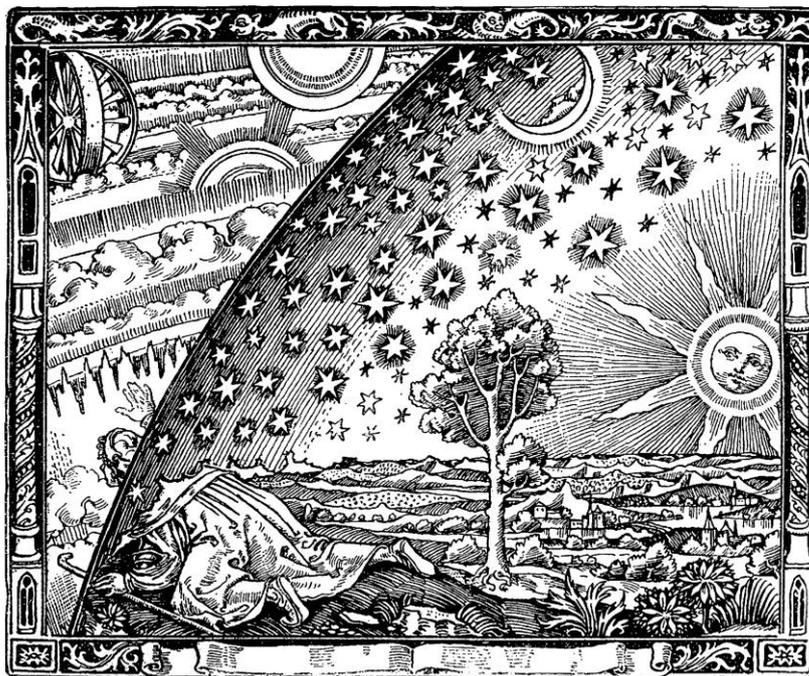


Figura 01 – Gravura de Flamarion  
Fonte: Steiner (2006)

Muitos modelos foram criados com intuito de revelar os movimentos dos planetas. Um desses modelos parece ter sido proposto por Eudoxus de Cnidus e sofreu diversos aperfeiçoamentos. Um deles por parte de Aristóteles, por volta do ano 350 a.C. na Grécia antiga, no qual explicava o movimento dos corpos celestes

através de um conjunto de esferas concêntricas. Na tentativa de explicar com maior grau de precisão os movimentos celestes, Cláudio Ptolomeu inseriu ao modelo de Aristóteles um número de círculos presos a outros círculos. Número esse que se alterava com o evoluir da teoria. Nesse modelo a Terra ocupava o centro do Universo e por esse motivo é denominado Geocêntrico. (STEINER, 2006)

#### 4.1.1. O modelo geocêntrico

Muitos modelos foram criados fundamentados no pressuposto de que a Terra não possuía movimento em direção alguma. Partindo da hipótese de que a Terra não se move, não é difícil imaginá-la em posição privilegiada, centralizada, em relação aos demais astros, tendo em vista que esses possuem um movimento aparente para o observador terrestre. Os modelos que partem dessa ideia de centralidade e imobilidade da Terra são denominados Geocêntricos. (BRASIL, 2003).

Segundo os modelos geocêntricos todos os corpos celestes orbitavam a Terra. Apesar de naquela época já se tivesse conhecimento que o Sol era muito maior que os demais astros, ainda assim, acreditava-se que o Sol também estava orbitando ao redor da Terra. A figura 02 mostra o esquema de distribuição dos planetas e do Sol ao redor da Terra. (DIAS; SANTOS; SOUZA, 2004).

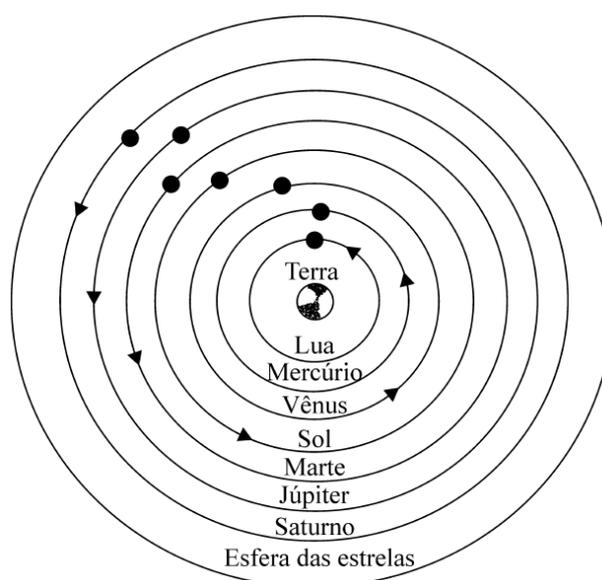


Figura 02 – Modelo Geocêntrico

Fonte: Dias; Santos; Souza (2004)

O geocentrismo foi a ideia predominante durante pelo menos treze séculos permanecendo sem mesmo divergências até o século XV. Apesar dos diversos modelos imaginados o de maior influencia foi o sugerido por Cláudio Ptolomeu. Segundo os modelos anteriores os corpos celestes deveriam percorrer órbitas perfeitamente circulares em torno da Terra, entretanto esse princípio não condizia com os movimentos observados. Para representar essas observações de maneira mais fiel Cláudio Ptolomeu deu um formato diferente para esse modelo. (SCHROEDER et al., 2012).

Segundo Pino (2004) no modelo Ptolomaico a Terra estava posicionada em um círculo excêntrico, isto é, em posição ligeiramente afastada do centro. Outro ponto igualmente distante do centro passou a ser chamado por Ptolomeu de equante e o círculo recebeu o nome de deferente. Presos ao deferente e ligados por um linha imaginária ao equante estavam os epiciclos, que eram círculos menores, no qual se encontravam os planetas e os demais astros, com exceção das estrelas fixas. Uma observação que deve ser feita é que cada planeta possuía seu próprio epiciclo. Todas as estrelas fixas estavam ligadas em um círculo mais externo também girando em torno da Terra. O esquema proposto por Ptolomeu é ilustrado na figura 03.

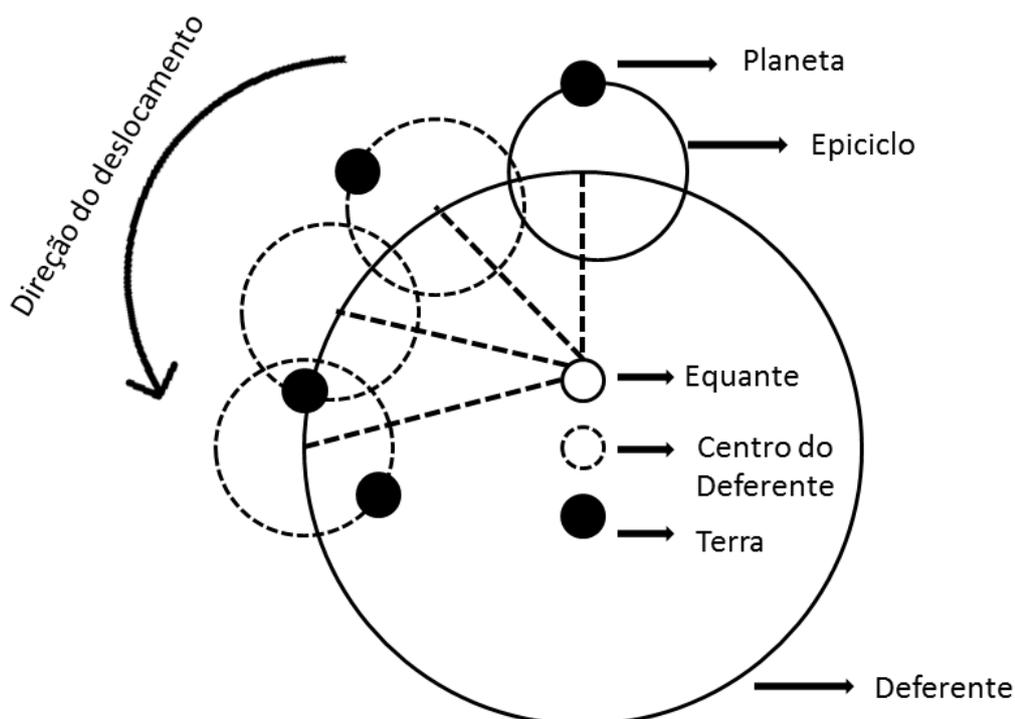


Figura 03 – Movimento do epiciclo sobre o deferente

Fonte: Pino (2004)

O modelo Ptolomaico se manteve firme por muitos séculos, o qual descrevia com certa precisão os movimentos celestes. Porém, um fator ainda mais importante pode ser ressaltado: o modelo Geocêntrico de Cláudio Ptolomeu estava de acordo com a Física Aristotélica. Aristóteles acreditava que toda a matéria era composta de quatro elementos e que cada elemento possuía um lugar natural em relação aos outros. A terra era o elemento mais pesado e por isso estava abaixo de todos os outros, em cima da terra estava a água, em cima da água o ar e em cima do ar estava o fogo. A busca pela sua posição natural justificaria, então, o fato de todos os astros rodearem a Terra. (PAIXÃO, 2011?).

O mecanismo demasiadamente complicado proposto por Ptolomeu e as contribuições de Nicolau Copérnico, Galileu Galilei, Johannes Kepler e Isaac Newton favoreceram a substituição do modelo Geocêntrico para o modelo Heliocêntrico. (PINO, 2004).

#### **4.1.2. O modelo heliocêntrico**

O astrônomo Nicolau Copérnico propôs em 1543 sua teoria sobre os movimentos celestes, afirmando em sua obra que tais movimentos seriam mais facilmente descritos admitindo-se que o Sol seria o centro do Universo e que a Terra não poderia estar estática em sua posição. Quase dois mil anos antes, Aristarco de Samos já havia proposto um modelo Heliocêntrico que na época de sua formulação não ganhou muitas atenções, pois necessitava de maior detalhamento matemático e em vários pontos era inferior ao modelo Geocêntrico. Todavia, o modelo de Copérnico era bem fundamentado e mais preciso que o modelo Ptolomaico chegando inclusive a ordenar, corretamente, os planetas em relação a sua distância do Sol. (PILLING; DIAS, 2007).

A suposição de Copérnico foi ousada, pois retirar a Terra de sua posição privilegiada implicaria não só em uma mudança no paradigma científico, mas também em uma mudança filosófica e até mesmo religiosa. A visão fomentada pela Igreja de que o Homem era a figura central das coisas foi maculada. Temendo a repercussão de suas ideias, Copérnico autorizou que sua obra fosse publicada somente após sua morte. (SINGH, 2010).

Acertadamente Copérnico inferiu que os planetas, inclusive a Terra, deveriam orbitar o Sol, porém errou ao insistir na ideia de que os trajetos percorridos durante

suas órbitas seriam perfeitamente circulares.(CARVALHO; GERMANO, 2007). O modelo Heliocêntrico de Copérnico está ilustrado na figura 04.

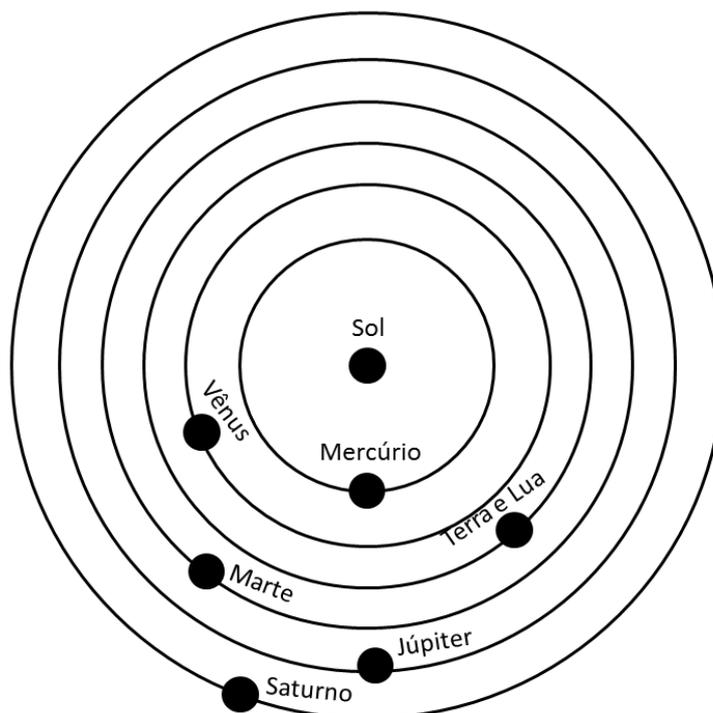


Figura 04 – Modelo Heliocêntrico

Tossato (2003) expõe a importante contribuição de Johannes Kepler no processo de consolidação do Heliocentrismo no que tange a correção das órbitas. Segundo esse autor, Kepler enquanto estudava o movimento retrógrado de Marte percebeu, após muitos anos de observação, que esse complexo movimento era facilmente explicado presumindo-se que a órbita desse planeta não poderia ser circular, que na verdade era levemente achatada, ou seja, uma elipse. A órbita elíptica foi generalizada para os demais planetas. Esse foi um fato muito importante, pois conferiu ao modelo Heliocêntrico simplicidade e precisão jamais alcançadas pelo modelo Geocêntrico.

Galileu Galilei também colaborou com o modelo Heliocêntrico ao observar, com a luneta confeccionada por ele, que Júpiter possuía pelo menos quatro corpos orbitando ao seu redor. Enfraquecendo a teoria de que todos os corpos deveriam orbitar a Terra. Observou ainda as manchas solares e as fases de Vênus. Contudo, suas contribuições foram vedadas na época pela rigurosidade da Igreja em relação

às ideias heliocêntricas, que eram consideradas hereges, e em virtude disso foi obrigado a renegá-las.(MARICONDA, 2000).

Com a evolução dos equipamentos e métodos de observação é possível dizer que certamente o Sol não ocupa o centro do universo, tampouco essa posição pertence a Terra. Como afirma Waga (2005, p. 161) “a verdade é que não há centro do universo, ou melhor, todos os pontos são centrais”. E quanto a posição privilegiada da Terra ou desse sistema solar Sagan (2009, p.191) fornece uma bela exposição:

Vivemos em um planeta insignificante de uma estrela insípida perdida entre dois braços espirais nos confins de uma galáxia, membro de um aglomerado esparsos de galáxias, aconchegado em alguma esquina esquecida de um universo no qual há muito mais galáxias do que pessoas.

Como afirma Singh (2010) em meio a tantas galáxias recheadas de outras tantas estrelas, que são orbitadas por um número maior de planetas, pode ser dito que em pelo menos um deles a vida evoluiu.

#### 4.1.3 Gravitação universal

A constante observação do Universo levou a constatação de que no sistema solar todos os planetas descrevem seu percurso ao redor do Sol, e também que alguns planetas possuem suas próprias luas, que por sua vez, além do Sol, orbitam seu respectivo planeta. Entretanto uma nova questão ganhou força: o que justificaria esses movimentos? Isaac Newton formulou a teoria, a qual batizou de Gravitação Universal, de que esse movimento seria intrínseco a massa dos corpos. Segundo Newton a massa era responsável por gerar um campo gravitacional e que esse campo produziria uma força atrativa. A força gerada seria diretamente proporcional as massas envolvidas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas, sendo o resultado multiplicado pela constante “ $G = 6,674287 \cdot 10^{-11} m^3 Kg^{-1} s^{-2}$ ” chamada constante gravitacional. (DIAS; SANTOS; SOUZA, 2004). Matematicamente essa relação é escrita como:

$$F = \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2} G \quad (01)$$

Dias, Santos e Souza (2004) afirmam ainda que Newton acreditava em um Universo homogêneo, isto é, igualmente denso em todas as regiões. Sendo assim, a atração gravitacional sentida por cada astro seria igual em todas as direções o que impediria que o Universo colapsasse para um único ponto impedindo, desse modo, seu fim.

A teoria de Newton ainda é válida para baixas gravidades, como é o caso da força gravitacional exercida pela Terra. Contudo, a teoria mais completa sobre a gravitação foi proposta por Albert Einstein em sua teoria da relatividade. (GREENE, 2001).

#### 4.2.A RELATIVIDADE DE ALBERT EINSTEIN

Apesar de Newton ter decifrado o papel das massas na atração gravitacional ele não foi capaz de justificar essa atração, de evidenciar o motivo por qual a matéria atrai matéria. Albert Einstein com sua teoria da relatividade geral foi o responsável por suprimir essa dúvida. Einstein deu uma nova interpretação para a atração gravitacional ao relatá-la como resultado geométrico da distorção do espaço e do tempo ocasionados pela massa dos corpos. Com isso mudou a visão clássica newtoniana de tempo e espaço absolutos. (LAUAND, 2012).

Como apontam Ribeiro e Videira (2004) entender a gravidade é um fator crucial na cosmologia, pois é ela que rege as interações entre os planetas, estrelas, galáxias, enfim, entre os corpos celestes, de modo que alterar sua interpretação implica em uma série de mudanças nos modelos cosmológicos.

A teoria da relatividade restrita apresentada em 1905 provocou uma revolução na compreensão dos movimentos e rendeu a Einstein reconhecimento e notoriedade no meio científico. O primeiro postulado de sua teoria afirmava que as leis da física são as mesmas em todos os referenciais inerciais. Como consequência matemática do primeiro princípio, Einstein postulou ainda que a velocidade da luz é constante para qualquer sistema de coordenadas inerciais. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

A gravitação universal de Newton estava em desacordo com a relatividade restrita. Para Newton qualquer mudança na distribuição de massas no espaço seria

instantaneamente percebida em todas as regiões do Universo através da força gravitacional. Isso equivale a dizer que se, por exemplo, o Sol explodisse a Terra teria sua órbita modificada imediatamente. Se as mudanças no campo gravitacional são instantaneamente transmitidas, como acreditava Newton, significar dizer, em outros termos, que os efeitos gravitacionais se deslocam com uma velocidade infinita. Porém, o segundo postulada da relatividade restrita afirma que nada pode se mover com uma velocidade superior a da luz. Einstein tentou por muitos anos desenvolver uma teoria gravitacional que estivesse dentro das exigências da relatividade restrita. (HAWKING, 1994).

Matsas (2005) relata que ao introduzir seus postulados, Einstein derrubou a ideia de tempo e espaço absolutos, mostrou que na verdade ambos estão ligados e não são apenas o palco inerte para os fenômenos, que na verdade eles modificam profundamente os acontecimentos se dilatando ou se contraindo. A teoria da relatividade restrita relaciona espaço e tempo de tal modo que se torna mais conveniente descrevê-los como uma nova forma de coordenadas unificadas: o espaço-tempo. Como Gleiser (1997) descreve o espaço-tempo é um sistema quadridimensional composto por três dimensões espaciais e uma temporal, de maneira que qualquer distância percorrida deve abranger deslocamentos espaciais e temporais.

Entretanto a grande contribuição de Einstein para a cosmologia veio somente dez anos mais tarde com o aprimoramento da teoria da relatividade restrita. A nova teoria foi batizada de relatividade geral para diferenciar-se da primeira que englobava apenas sistemas inerciais, isto é, livre da ação de forças. A teoria do espaço-tempo curvo, contida na relatividade geral, foi confirmada durante um eclipse solar em que foi possível verificar uma ligeira curvatura na luz de uma estrela ao passar próxima ao Sol. Esse fato constituiu uma evidência clara de que a massa do Sol deforma o espaço ao seu redor curvando a trajetória da luz da estrela. (HAWKING, 2001).

A matéria e a energia deformam o espaço-tempo de maneira que a atração gravitacional experimentada por um objeto é o produto direto dessa distorção. Einstein atribui a geometria produzida pelas deformações da matéria e da energia no tecido do espaço-tempo a origem e a transmissão da força gravitacional. A influência gravitacional é maior quanto maior for a massa dos corpos envolvidos e cai com o aumento da distância entre os mesmos. As duas últimas afirmações revelam alguma semelhança entre a gravitação universal e a relatividade geral. (GREENE, 2001).

As teorias de relatividade, restrita e geral, promoveram uma grande inquietação no meio científico. Primeiramente as tentativas de comprovação que envolveram um bom número de físicos, astrônomos e cosmólogos, que eram sempre surpreendidos pela precisão entre dados teóricos e observacionais. Em segundo lugar, pelas soluções das equações relativísticas que levaram a Física teórica a outro patamar, e são responsáveis pela descrição do Universo de maneira, muitas vezes, inacreditável. (SINGH, 2010).

#### **4.2.1. A constante cosmológica e o universo estático**

Em 1917, dois anos após a publicação da teoria da relatividade geral, Einstein propôs o primeiro modelo cosmológico relativista, isto é, embasado na teoria da relatividade. Contrariando as soluções de suas próprias equações, que apontavam para um universo dinâmico, Einstein descreveu o universo, com o auxílio da constante cosmológica, estático. (SOARES, 2012). O empenho de Einstein para formular uma teoria estática do universo se constituiu em uma tentativa de adequar sua teoria com o paradigma que vigorava naquela época (ROSENFELD, 2002).

Para a construção de seu modelo estático de universo Einstein usou sua própria teoria de gravitação (relatividade geral) acrescida de uma ligeira mudança. A mudança foi a adição de uma “constante cosmológica” em sua equação de campo gravitacional. O valor da constante cosmológica “foi ajustado de modo a funcionar como uma força repulsiva e assim contrabalancear a atração gravitacional da matéria comum, permitindo modelar um cosmo sem expansão nem contração”.(FAGUNDES, 2002, p. 250).

Na figura 05, é possível verificar os caminhos possíveis do universo de acordo com as soluções das equações de Einstein. No eixo vertical do gráfico está representado o tempo e no eixo horizontal está o fator de escala ( $R$ ), que relaciona medidas de distância cosmológicas e pode ser intuitivamente visto como o tamanho do universo.

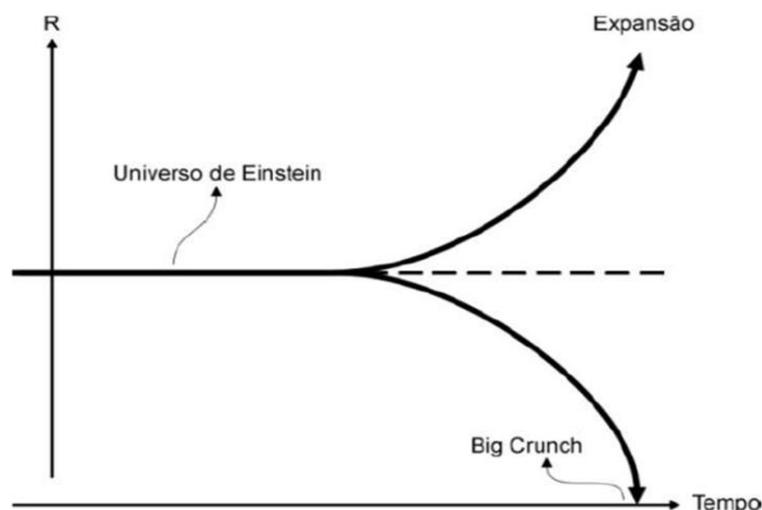


Figura 05– Gráfico evolução do universo em função do tempo  
 Fonte: Henrique (2011)

A linha central representa o universo estático e imutável no tempo defendido por Einstein e que foi possível devido a sua constante cosmológica. Sem a introdução da constante cosmológica as soluções das equações de campo apontavam para dois resultados: o universo poderia colapsar, contraindo-se até um ponto onde a densidade fosse nula (BigCrunch) ou poderia expandir-se, desse modo, aumentando a distância entre as galáxias com o aumento do tempo. (HENRIQUE, 2011).

Einstein como qualquer outro ser humano estava sujeito a falhas. A constante cosmológica, apesar de ser matematicamente válida, foi um erro que segundo Barbuy (2004) mais tarde o próprio Einstein admitiu ser o maior de sua vida. Para Hawking (2001) ao adicionar a constante cosmológica a sua equação de campo gravitacional, Einstein retirou da física teórica a oportunidade de prever, corretamente, a expansão do universo antes que essa fosse verificada através das observações de Edwin Hubble.

Em 1923 Edwin Hubble descobriu a existência de outras galáxias, até então acreditava-se ser a Via Láctea a única existente, e em 1929 suas observações mostraram que praticamente todas elas se afastam da Via Láctea. (HENRIQUE; SILVA, 2009).

Ao observar que a maior parte absoluta das galáxias se afastam da Via Láctea Edwin Hubble descartou a possibilidade de o universo ser estático. Suas

observações que claramente apontavam para o universo em expansão suscitaram novos modelos de universo. (WAGA, 2005).

### 4.3.O TAMANHO DO UNIVERSO

Durante o ano de 1920 quando o conceito de galáxia ainda estava sendo construído, era examinada a possibilidade de que algumas nebulosas espirais pertencessem a sistemas externos a Via Láctea. Vale lembrar que até aquele momento predominava a ideia que a Via Láctea era a única galáxia existente e, portanto, que o universo se restringia a ela. (ANDREOLLA, 2011).

Dois importantes astrônomos promoveram, nessa mesma época, um grande debate público sobre a natureza dessas nebulosas e o tamanho da Via Láctea: Harlow Shapley acreditava em uma Galáxia muito grande, contendo muitas nebulosas, enquanto que Heber Curtis defendia a ideia de múltiplas galáxias. (HENRIQUE; SILVA, 2009).

Em 1920 o grande debate, como esse episódio ficou conhecido, chegou a um impasse, pois ambos os modelos possuíam evidências observacionais ao seu favor (GLEISER, 1997). Era preciso, então, uma observação que apontasse claramente para um dos dois modelos, resolvendo a situação.

O advogado e astrônomo Edwin Hubble foi quem conseguiu por fim a incerteza sobre as nebulosas espirais. Hubble estudou na Universidade de Chicago onde conheceu o astrônomo George Ellery Hale por quem foi fortemente influenciado. Em 1914 Hubble havia se juntado a equipe do Observatório de Yerkes, porém cinco anos mais tarde, a convite de Hale, transferiu-se para o observatório de Monte Wilson. (NEVES, 2000a).

Hubble, que compartilhava da ideia de Curtis de que as nebulosas espirais eram na verdade outras galáxias, estava em uma posição desconfortável no observatório de Monte Wilson onde prevaleciam os defensores da hipótese da galáxia única. Entre eles estava Shapley um dos protagonistas do grande debate e rival a teoria de Curtis e Hubble. Em meio a esse cenário nada favorável na noite de 4 de outubro de 1923 observando a nebulosa de Andrômeda, M-31, Hubble conseguiu identificar uma estrela cefeida em seu interior. Cefeidas são estrelas que variam a sua luminosidade em um período com certo grau de regularidade. (SINGH, 2010).

Naquela época já era conhecido um método para se calcular a distâncias das estrelas cefeidas com relativa precisão. O método, que havia sido aprimorado por Shapley, Hertzsprung e Leviatt, consistia em uma relação entre a luminosidade absoluta e o brilho aparente da estrela. Restava a Hubble calcular a distância até a cefeida de Andrômedae definir a situação a favor de um das duas teorias. (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2013).

Como descrito por Neves (2000a) Hubble concluiu que estrela cefeida estava a distância de aproximadamente 900 mil anos-luz. A Via Láctea possuía 100 mil anos-luz de diâmetro. Portanto, Andrômeda não estava contida nesta galáxia. Apesar de estar tão longe ainda era possível vê-la a olho nu. Tal brilho implicava que Andrômeda deveria conter um número muito grande de estrelas. Com isso comprovou-se que a nebulosa de Andrômeda era na verdade a Galáxia de Andrômeda. O grande debate estava terminado! Hubble, através de suas observações, provou que o universo era muito maior do que se imaginava. (BRASIL, 2013).

As contribuições de Hubble somadas as novas interpretações para as equações da relatividade possibilitaram a formulação de novas hipóteses para a origem do universo. Como já foi visto, as teorias de universo estático e eterno dominaram o meio científico durante muitos séculos, até o século passado, porém, na mesma época em que Hubble descobriu a existência de outras galáxias surgiu o esboço de uma teoria concorrente a esses modelos. Uma teoria que apostava em um universo dinâmico e finito no tempo e que ficou conhecida como a teoria do Big Bang. (ARTHURY; PEDUZZI, 2013).

#### 4.4. A TEORIA DO BIG BANG

O matemático russo Alexander Alexandrovitch Friedmann foi o primeiro a encontrar soluções expansionistas para as equações de Einstein e teve seu trabalho publicado em uma importante revista científica. Todavia, a sua abordagem demasiadamente matemática impediu que sua obra recebesse as atenções merecidas. Friedmann extraiu poucas consequências físicas de seus resultados. (WAGA, 2005).

Uma bela contribuição de Friedmann, segundo Hawking (1994), foram os princípios no qual se baseou sua obra: a homogeneidade e a isotropia.

Homogeneidade significa a equivalência de todos os pontos do espaço e isotropia a igualdade em todas as direções. Isso implica em dizer que não existem pontos privilegiados no universo.

Einstein, que acreditava no universo estático e imutável, chegou a publicar uma nota em que afirmava que o trabalho de Friedmann estava matematicamente incorreto. Mais tarde, ao fazer a análise correta das soluções de Friedmann, Einstein publicou uma retratação reconhecendo que as soluções de Friedmann eram matematicamente possíveis. Porém, a negativa do maior físico da época, talvez de todos os tempos, foi um grande empecilho para a teoria expansionista. Esse episódio marcou negativamente Friedmann que confidenciou, em carta, a um amigo ter se decepcionado com Einstein. (SINGH, 2010).

Embora em 1922 Friedmann já estivesse no caminho correto, seu tratamento excessivamente matemático impossibilitou o avanço de sua teoria. Foi somente em 1925 com o padre e cosmólogo belga George Lemaître que a modelo de universo em evolução ganhou destaque. Lemaître fez uma abordagem legitimamente física das soluções das equações da relatividade geral. O modelo de Lemaître descreve um universo finito no tempo e é considerado um esboço do que atualmente é conhecido como a teoria do Big Bang. (ARTHURY; PEDUZZI, 2013).

De acordo com a teoria do Big Bang o universo se originou de um único ponto chamado de átomo primordial, uma singularidade do espaço-tempo que concentrava toda a massa e energia do universo, a cerca de 13,7 bilhões de anos a partir de uma explosão de proporções imensuráveis e vem, desde então, se expandindo até as dimensões atuais. Esse átomo primordial é descrito como uma singularidade, pois o próprio tempo e espaço foram criados a partir da explosão inicial. (NEVES, 2000b).

Steiner (2006) ressalta que não é possível dizer em qual ponto ocorreu a explosão inicial, pois ela não se deu no espaço e sim no início do tempo. A Singularidade temporal criou o espaço, a explosão ocorreu simultaneamente em todos os pontos.

Como afirma Henrique (2011) foi somente em 1946 que a teoria do universo em evolução recebeu uma significativa contribuição em suas definições, por parte de George Gamow. De acordo com o modelo de Gamow o começo do universo era muito denso e quente e passou a esfriar com a expansão. Utilizando resultados da física nuclear para demonstrar a formação da matéria a partir do estágio inicial do

universo. O modelo de Gamow possui vários aspectos similares ao átomo primordial de Lemaître e pode ser considerado como sendo um aprimoramento dele.

O termo “Big Bang” foi sugerido por Fred Hoyle em uma tentativa de ridicularizar a ideia de um universo expansionista, finito no tempo e criado a partir de uma explosão. Porém, para o seu descontentamento o termo se adequou tão harmoniosamente com a teoria que desde o momento em que foi dito não mais se empregou outro nome para referenciá-la. (ANDREOLLA, 2011).

A primeira grande evidência em favor da teoria do Big Bang, como dito em Oliveira Filho e Saraiva (2013), ocorreu em 1929 quando Hubble conseguiu novamente abalar o meio científico. Hubble que já havia revolucionado a cosmologia ao descobrir a existência de outras galáxias, tinha agora meios para promover uma revolução ainda maior. Hubble conseguiu nessa época confirmar que o universo está em expansão.

#### **4.4.1. Lei de Hubble: universo em expansão**

Por muito tempo acreditou-se que o universo fosse imutável e estático, isso deve-se segundo Rosenfeld (2005) principalmente pela ausência de dados que apontassem para outra direção. Contudo, esse quadro mudou quando em 1929 Hubble conseguiu evidências observacionais que corroboravam com a teoria expansionista de Friedmann e Lemaître.

Ao fazer a leituras dos resultados coletados por um espectroscópio sobre as velocidades de aproximação ou afastamento das galáxias em relação a Via Láctea, Hubble verificou que praticamente todas elas possuíam o espectro com um desvio para o vermelho. Esse desvio para o vermelho foi interpretado por Hubble como o resultado do efeito Doppler na onda eletromagnética (luz) emitida pelas galáxias. (NEVES, 2000a).

O efeito Doppler para ondas eletromagnéticas é uma apropriação do mesmo efeito para ondas sonoras. Quando o emissor de uma onda sonora possui um movimento de aproximação em relação ao observador o comprimento de onda torna-se aparentemente mais curto o que causa um som ligeiramente mais agudo. Quando eles se afastam o comprimento de onda é maior e o som mais grave. No caso da luz, onda eletromagnética, quando o emissor se aproxima do receptor o

espectro de onda tem um desvio para o azul e quando ele se afasta o espectro de onda apresenta um desvio para o vermelho. (SOUZA; KUCHLE; AMANTE, 2009).

Dizer que quase todas as galáxias possuíam o espectro com desvios para o vermelho significa dizer que elas estão se afastando da Via Láctea. As únicas galáxias que não se afastam são as do grupo local que estão presas pela atração gravitacional. Ao verificar o afastamento das galáxias, Hubble foi o primeiro cientista a detonar as noções pré-históricas de um universo estático e imutável. (ABRAMO, 2009).

Como explica Velten (2011) a distância das galáxias em relação a Via Láctea aumenta com o tempo. Ou seja, no futuro elas estarão mais distantes o que implica que no passado elas já estiveram mais próximas. Se fosse possível regredir o tempo cada vez mais chegaria-se o momento em que todas elas estariam juntas em um único ponto.

Lembrando que isso é exatamente o que defende a teoria do Big Bang. Esse “ponto” único já foi mencionado, nesse texto, como o átomo primordial. Ou seja, a singularidade de densidade infinita que concentrava toda a massa e energia do universo e que explodiu em uma expansão que jamais cessou. (NEVES, 2000b).

Na opinião de Waga (2005) uma incoerência muito comum é pensar que o universo se expande dentro de algo que o contém. Não existe nada além dos limites do universo. Pois, ao mesmo tempo em que se expande o universo cria o espaço onde ele se estende.

Concluindo seus estudos sobre a expansão do universo Hubble demonstrou que o desvio para o vermelho era maior quanto mais longe estivesse a galáxia observada. Ou seja, a velocidade de afastamento aumenta conforme a distância entre a galáxia observada e a Via Láctea cresce. Esse princípio ficou conhecido como lei de Hubble e é matematicamente descrita pela seguinte equação:

$$v = H_0 \cdot d \quad (02)$$

Onde “ $v$ ” é igual a velocidade radial da galáxia, “ $d$ ” é a distância entre as galáxias e “ $H_0$ ” é a constante de Hubble. O valor atual para constante de Hubble é de aproximadamente  $72 \text{ km/s} \cdot \text{Mpc}$  ( $1 \text{ Mpc} = \text{Mega parsec} = 3,18 \cdot 10^{19} \text{ km}$ ). (HENRIQUE; SILVA, 2009).

Como Steiner (2006, p. 238) argumentou “Num primeiro momento, poderíamos pensar que, afinal, estamos no centro do universo, um lugar privilegiado. Todas as galáxias sabem que estamos aqui e por alguma razão fogem de nós”. O mesmo autor afirma que é mais fácil entender a expansão do universo tomando como exemplo a superfície de uma bexiga. Imagine uma bexiga com sua superfície tomada por formigas que estão estáticas em suas posições. Ao se inflar a bexiga a sua superfície se dilata e a distância entre as formigas aumenta. Todas as formigas observariam as outras se afastando e teriam a “impressão” de centralidade. Ou seja, todas as formigas são equivalentes (homogeneidade) e como a bexiga é esférica todas as direções também são equivalentes (isotropia). Além disso, qualquer ponto poderia ser tomado como central visto que uma esfera é simetricamente igual em todos os pontos. Assim não é possível dizer qual ponto é o centro do universo, pois tal lugar não existe, todos os pontos são centrais. (WAGA, 2005).

Assis, Neves e Soares (2008) ressaltam que Hubble estava receoso em relação a interpretação dos seus dados. Alguns cientistas defendiam que os desvios para o vermelho observados não eram consequência do efeito Doppler, eles afirmavam que na verdade eram resultado de outro fenômeno físico chamado de teoria da luz cansada. A teoria da luz cansada afirma que o desvio para o vermelho é resultado da perda de energia do fóton de luz ao longo da trajetória, contudo, essa teoria ainda não foi confirmada, pois não se conhece o motivo que faria esse fóton perder energia. Apesar do descrédito da teoria da luz cansada, Hubble preferiu não se posicionar a favor de nenhuma das duas teorias até que se tivessem mais evidências.

#### **4.4.2. Abundância dos elementos leves**

Um dos pilares que sustentam a teoria do Big Bang é a abundância dos elementos leves (hidrogênio e hélio) observada no universo. George Gamow estudou os estágios iniciais do Big Bang e sugeriu que os elementos leves foram sintetizados no universo primordial. (HENRIQUE; SILVA, 2009).

Como descrito por Brasil (2013) o elemento químico hidrogênio constitui aproximadamente 75% da massa do universo observável, 24% dele é formado de hélio e apenas 1% corresponde a todos os outros elementos químicos. A teoria Big Bang, aprimorada por Gamow, explica a abundância dos elementos leves nas

mesmas proporções em que são observadas. Segundo Velten (2011) o processo que descreve a formação dos elementos é chamado de nucleossíntese. A nucleossíntese primordial explica o surgimento dos elementos através de reações nucleares poucos instantes após o Big Bang.

Gamow presumiu que a temperatura após o Big Bang era suficientemente elevada para conter toda a matéria em sua forma elementar. Desse modo, ele considerou que inicialmente o universo era composto por prótons, nêutrons e elétrons separados. Pois, que eram essas as partículas elementares conhecidas naquela época. Essa mescla de partículas recebeu o nome de *ylem*. A temperatura extrema conferiu a energia cinética necessária para que as partículas não conseguissem se ligar. Além das partículas de matéria, o universo primordial era banhado por um mar de luz. (SINGH, 2010).

A síntese dos elementos leves foi decidida pela relação entre a taxa de expansão do universo, a temperatura e a taxa das reações nuclear forte e nuclear fraca. A nucleossíntese ocorreu, aproximadamente, entre os instantes  $t=0,01s$  e  $t=100s$ . Neste intervalo de tempo foram produzidos os elementos: deutério ( $^2H$ ), hélio ( $^3He$  e  $^4He$ ) e lítio ( $^7Li$ ). À medida que o universo expandiu ele se esfriou e a síntese de elementos mais pesados não foi possível. Assim, a proporção de elementos leves produzidos na nucleossíntese primordial é condizente com as proporções desses elementos observadas no universo. (RIBEIRO, 2013).

Como afirmam Guimarães e Hussein (2004) a síntese dos elementos leves é uma das chaves para que se compreenda o universo primordial. Elementos como hélio e hidrogênio são como fósseis do Big Bang, pois fornecem pistas sobre as condições em que ocorreu a produção da matéria no estado em que se conhece. Com o avanço da física nuclear dados mais precisos vão sendo adquiridos possibilitando a evolução das teorias sobre os instantes iniciais do universo.

Um fato bastante curioso ocorreu quando Gamow decidiu publicar seus resultados. O estudo que havia sido feito em colaboração com Ralph Alpher ganhou entre seus autores o nome de Hans Bethe, que era um dos amigos de Gamow. O acréscimo do nome de Bethe foi uma brincadeira de Gamow para que os leitores pudessem apreciar um artigo da autoria de Alpher, Bethe e Gamow. Uma alusão as letras gregas: alfa, beta e gama. (SINGH, 2010).

#### 4.5.A TEORIA DO ESTADO ESTACIONÁRIO

O primeiro obstáculo encontrado pela teoria do Big Bang foi o paradigma de universo estático que dominou o meio científico até o início dos anos 30 do século passado. Ao verificar que o universo está se expandindo, Hubble fez com que os modelos estáticos de universo fossem abandonados. Entretanto, persistia ainda o paradigma de universo eterno. Ou seja, perdurava a ideia de que o universo jamais havia sido criado que na verdade ele sempre existiu. (SINGH, 2010).

Na mesma época em que Gamow alterou a Teoria do Big Bang surgiu uma nova teoria concorrente. O novo modelo cosmológico passou rapidamente a ser denominado como teoria do Estado Estacionário. Foram muitos os modelos estacionários do universo, porém, o mais famoso foi elaborado em 1948 pelos físicos Hermann Bondi, Thomas Gold e Fred Hoyle. O trio de Cambridge formulou sua teoria sobre os pontos que eles jugavam incoerentes na teoria do Big Bang. (HENRIQUE, 2011).

Hawking (1994) relata que o universo criado a partir de um instante no tempo abria espaço para explicações envolvendo a intervenção divina. Fred Hoyle não gostava dessa possibilidade, por isso, sugeriu que o universo era infinito no tempo. Que na mesma medida que as galáxias se afastavam, novas galáxias eram formadas a partir da produção de matéria contínua, em uma taxa muito baixa, nos intervalos de espaço abertos pelo afastamento delas. Para justificar a produção constante de matéria, Hoyle fez algumas alterações na relatividade geral, de modo que ela permitisse que tal efeito fosse conseguido.

A teoria do Estado Estacionário estava baseada no chamado princípio cosmológico perfeito. Ou seja, isotropia e homogeneidade conservadas infinitamente no tempo. Porém, o afastamento das galáxias já era um fator indiscutível e se as galáxias estão se afastando a densidade do universo está diminuindo. Para não contradizer a expansão do universo e manter sua densidade ao longo do tempo, foi sugerido que a matéria era constantemente criada de modo que a densidade do universo fosse a mesma em qualquer tempo. (NARLIKAR, 2001).

Em defesa de sua teoria, Hoyle argumentou que era muito menos absurdo supor a criação suave e contínua da matéria do que acreditar que toda a massa do universo havia sido produzida em um único instante. (WAGA, 2005).

Todavia, a maneira como era criada a matéria nunca foi totalmente esclarecida pela teoria estacionária do universo. A falta de clareza sobre esse aspecto impedia que a teoria ganhasse novos seguidores. (FAITANIN, 2006). Mas, como afirma Henrique (2011) o trabalho de divulgação feito por Fred Hoyle ajudou a mudar esse quadro. Através de palestras e publicação de trabalhos científicos, Hoyle conseguiu atrair um bom número de adeptos para sua teoria. Com isso a teoria do Estado Estacionário provou ser uma possibilidade a ser investigada e se tornou a principal concorrente para a Teoria do Big Bang.

#### 4.6. BIG BANG VERSUS ESTADO ESTACIONÁRIO

As duas teorias conflitantes do século XX necessitavam na época de uma comprovação irrefutável a favor de uma delas. Ambas conseguiam explicar os fenômenos observados no universo. Porém, tanto a teoria do Big Bang como o Estado Estacionário tinham pontos falhos. A teoria expansionista do universo levava uma ligeira vantagem sobre sua rival. Mas, não era possível descartar a hipótese estacionária do universo, tendo em vista que ela apresentava soluções admissíveis tanto matematicamente como também nos aspectos físicos para as observações feitas. (HENRIQUE, 2011).

O deslocamento para o vermelho dos espectros das galáxias e seu consequente afastamento era um fenômeno absolutamente esperado de um universo que se iniciou através de uma explosão. A teoria do Big Bang sugeria que o afastamento das galáxias era consequência da expansão do universo. O Estado Estacionário também não tinha dificuldades em aceitar a expansão do universo, porém, por ser baseado no princípio cosmológico perfeito, matéria deveria ser constantemente criada para que o universo mantivesse sempre a mesma densidade. Vale lembrar que a teoria do Big Bang sugeriu a expansão do universo antes mesmo das observações de Hubble, enquanto que o Estado Estacionário foi adequado para permitir essa observação. (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2003).

Como visto em Hawking (1994) outro ponto de bastante sucesso da teoria do Big Bang foi a previsão da abundância dos elementos leves nas mesmas proporções observadas no universo. Segundo essa teoria, os elementos leves foram sintetizados nos primeiros instantes após o Big Bang a partir de um processo chamado de nucleossíntese. A teoria do Estado estacionário não possui uma

explicação satisfatória para a abundância dos elementos. Ambas as teorias concordam que os elementos mais pesados são formados no interior e nas explosões das estrelas.

Apesar do sucesso para explicar tópicos como a expansão do universo e a abundância de elementos leves, a teoria do Big Bang não mostra, claramente, como as galáxias se formaram. A velocidade conferida pela explosão inicial deveria impedir que os corpos celestes se agrupassem, entretanto o universo evoluiu para o que se vê atualmente. Já para a teoria do Estado Estacionário isso não seria um problema, pois o universo teve mais tempo para adquirir essa forma e não teve nenhuma expansão inicial violenta. Foi dito que o universo teve mais tempo para evoluir sabendo que o Estado Estacionário defende a ideia de universo eterno, por isso, as galáxias tiveram toda a eternidade para assumirem suas posições atuais. (SINGH, 2010).

De acordo com a teoria expansionista o universo teve seu começo a aproximadamente 13,7 bilhões de anos. Já o Estado Estacionário supõe que o universo sempre existiu. Não foram encontrados no universo objetos com idade superior a 13 bilhões de anos. Esse fato é coerente com a teoria do Big Bang, pois é uma idade inferior a idade que o universo deve ter segundo essa teoria. Objetos de qualquer idade poderiam ser observados no Estado Estacionário, visto que para essa hipótese o universo é infinito no tempo. (BARBUY, 2004).

De acordo com Henrique (2011) os dados observacionais daquela época não permitiam que os cientistas tomassem uma postura muito segura a favor de nenhuma das teorias já que seria uma negligência descartar qualquer uma das duas hipóteses. Novamente a discussão sobre as origens do universo havia chegado a um impasse que só seria resolvido com novos dados observacionais.

#### **4.6.1. O fim da controvérsia: radiação cósmica de fundo**

Próximo ao final dos anos 40, George Gamow sugeriu que o início extremamente quente deste universo deveria ter produzido efeitos que ainda hoje poderiam ser percebidos. Gamow estava se referindo a temperatura nos momentos iniciais do universo. Ele acreditava que o universo tão compacto e quente deveria ter emitido muita luz. À medida que se expandiu a temperatura característica dessa luz

diminuiu e que nos tempos atuais deveria ter um valor de aproximadamente 5 Kelvin. (STEINER, 2006).

Esse resquício do universo primitivo passou a ser denominado como radiação cósmica de fundo. Alguns outros colaboradores de Gamow também fizeram previsões para os valores esperados para a radiação cósmica de fundo. Os resultados obtidos variavam entre 5 Kelvin e 50 Kelvin. Contudo, nenhum deles sugeriu verificar, observacionalmente, o verdadeiro valor para a radiação de fundo e nem mesmo deixaram claro se existiam meios possíveis de verificá-la. (WAGA, 2005).

No ano de 1960, Arno Penzias e Robert Wilson trabalhavam em uma empresa de telecomunicações. Durante uma pesquisa rotineira de seu trabalho, verificaram um sinal medido na faixa de micro-ondas que deixou os dois bastante confusos. Inicialmente pensaram se tratar de algum defeito no seu equipamento ou algum tipo de interferência provocado por outro aparelho. Após verificarem seus equipamentos perceberam que a radiação detectada por eles não era resultado de um defeito técnico. Eles ficaram ainda mais intrigados ao perceberem que a radiação com comprimento de onda de 7,3 centímetros parecia vir uniformemente de todas as direções em que eles apontavam sua antena. (GUAITOLINI JUNIOR, 2012).

Rosenfeld (2005) relata que sem saberem do que se tratava a radiação medida por eles, Wilson e Penzias decidiram conversar com alguns físicos da Universidade de Princeton. Tão logo viram os dados, os físicos imediatamente reconheceram que aquela radiação na faixa de micro-ondas deveria ser a radiação cósmica de fundo prevista por Gamow e seus colaboradores. Em 1979 Penzias e Wilson receberam o prêmio Nobel pela descoberta da radiação cósmica de fundo.

A radiação cósmica de fundo encontrada por Penzias e Wilson equivale a temperatura atual do universo. O valor medido por eles foi de aproximadamente 2,7 graus Kelvin um número muito próximo do resultado previsto por Gamow. Como o valor medido é praticamente igual em todas as direções, supõe-se que o universo seja homogêneo em larga escala, como no modelo proposto por Friedmann. (NOGUEIRA; BABICHAK, 2000).

Os defensores da Teoria do Big Bang comemoram triunfantes a descoberta da radiação cósmica de fundo. Gamow e seus colaboradores fizeram uma previsão correta em relação aos vestígios deixados pelo Big Bang e a teoria do Estado Estacionário era incapaz de explicar a radiação cósmica de fundo. A previsão

seguida da observação elevaram a teoria do Big Bang ao posto de novo paradigma cosmológico. A teoria do Estado estacionário caiu em descrédito e atualmente poucos ainda defendem essa possibilidade. Esse episódio encerrou a controvérsia entre Big Bang e Estado estacionário. A partir daquele momento o Big Bang passou a ser a teoria a ser vencida. (HENRIQUE; SILVA, 2009).

#### 4.7. O BIG BANG É A TEORIA PERFEITA?

Como descreve Faitanin (2006) a teoria do Big Bang é uma das maiores realizações intelectuais do século XX. Apesar de todo o sucesso dessa teoria ainda existem pontos que precisam de maior esclarecimento. O Big Bang é, indubitavelmente, uma grande conquista da cosmologia, mas certamente não é uma teoria perfeita.

Como Singh (2010) afirma a explicação sobre a formação das galáxias é insatisfatória. O universo primitivo, denso e quente, após a violenta explosão inicial deveria ter se expandido com tanta velocidade que seria quase impossível as galáxias tomarem o formato que hoje é observado no universo.

Um fator que é bastante discutido está relacionado com o instante do Big Bang. Ou seja, o momento em que o tempo e o espaço ainda não existiam. O que justificaria essa singularidade? Essa questão vem povoando a mente de muitos cosmólogos já há algum tempo. Dificilmente esse aspecto será resolvido, pois sabe-se que a explosão inicial criou simultaneamente tempo e espaço. Desse modo, não é possível questionar o que existia “antes” do Big Bang. A própria pergunta já parte de uma incorreção. (GLEISER, 1997).

Em um estudo sobre a massa do aglomerado de galáxias Virgo e de Coma o astrônomo Fritz Zwicky verificou que as suas massas eram maiores do que a soma das massas individuais de suas galáxias. O mesmo foi verificado em todas as galáxias e aglomerados testados, inclusive na Via-Láctea. Admite-se, atualmente, que o excesso de massa observada tratasse da chamada matéria escura. Denomina-se escura, pois ainda não se tem meios para observá-la diretamente. Sabe-se muito pouco sobre ela, concretamente sabe-se apenas que ela é formada por algum tipo de partícula totalmente desconhecida. (STEINER, 2006).

A matéria comum e a matéria escura, por possuírem massa, estão freando a aceleração do universo. Porém, descobriu-se que a aceleração do universo está,

intrigantemente, aumentando. Então, algum tipo de energia de força contrária a atração gravitacional tem que estar agindo no universo. Essa energia passou a ser chamada de energia escura. Sabe-se menos sobre a energia escura do que sobre a matéria escura. (ABRAMO, 2009).

Obviamente os cientistas não estão satisfeitos em descrever o universo utilizando duas componentes tão incomuns. Muitas pesquisas estão sendo feitas para aprimorar o conhecimento em relação a matéria e energia escura. As expectativas em relação ao descobrimento de que tipo de partícula compõe a matéria escura são bem altas, imagina-se que muito em breve será possível verificá-la. Entretanto, o dia em que será possível descrever claramente o que é a energia escura parece estar ainda muito distante. (ABRAMO, 2006).

Como informa Steiner (2006) medidas recentes apontam que a massa-energia do universo está distribuída de modo que a matéria comum corresponde 4% da massa total do universo, a matéria escura equivale a 22% e a energia escura 74% desse valor. Como somente a matéria comum é conhecida, 96% da natureza ainda é um total mistério. Em outras palavras pode se dizer que apenas a ponta do *iceberg* foi revelada.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A teoria do Big Bang é uma das maiores conquistas da ciência de todos os tempos. A relevância de trazer à luz um tema como esse vem da importância que o mesmo tem para a evolução do pensamento humano. A compreensão das origens desse universo é um feito extraordinário que deve ser reconhecido e divulgado. Em um universo em que existem muito mais galáxias do que pessoas, em um pequeno planeta como a Terra a gênese deste universo está sendo estudada com afinco e aos poucos é desvendada.

Como visto, a teoria do Big Bang é sustentada por uma série de dados teóricos e observacionais. Os três pilares principais que elevam essa teoria ao posto de paradigma cosmológico são: a expansão do universo, a abundância dos elementos leves e a radiação cósmica de fundo. Somados, esses três fatores contribuíram de forma decisiva a favor do Big Bang. A falta de clareza das teorias rivais sobre esses aspectos só demonstravam o quão magnífica era a teoria do Big Bang.

Certamente a teoria do Big Bang ainda precisa ser aprimorada. Mas, seria muita pretensão esperar que em apenas um século, contando desde a elaboração da relatividade, todos os mistérios de um universo com aproximadamente 13,7 bilhões de anos fossem resolvidos.

## REFERÊNCIAS

ABRAMO, R. O estranho universo em que vivemos. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 61, n.4, p. 23-27, 2009. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v61n4/10.pdf>> Acesso em: 06 set. 2013.

ANDREOLLA, T. **Big Bang**: teoria da origem do universo. Disponível em: <<http://educacaoespacial.wordpress.com/2011/10/20/confira-hoje-o-episodio-big-bang-da-tv-escola/>> Acesso em: 06 set. 2013.

ARTHURY, L. H. M; PEDUZZI, L. O. Q. A cosmologia moderna à luz dos elementos da epistemologia de Lakatos: recepção de um texto para graduandos em física. **Revista brasileira de ensino de Física**, [S.l.], v. 35, n. 2, p. 01-14, mar. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n2/20.pdf>> Acesso em: 08 set. 2013.

ASSIS, A. K. T; NEVES, M. C. D; SOARES, D. S. L. A cosmologia de Hubble: de um universo finito em expansão a um universo infinito no espaço e no tempo. In: CRISIS IN COSMOLOGY CONFERENCE, II, 2008, Washington. **Anais...Washington: CCC2**, 2008. p. 201-223. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~assis/Cosmologia-de-Hubble.pdf>> Acesso em: 26 out. 2013.

BARBUY, B. A idade, a massa e a expansão do universo. **Revista USP**, São Paulo, n. 62, p. 194-199, jun./ago. 2004. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revusp/article/download/13353/15171>> Acesso em: 25 out. 2013.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Introdução à Astronomia e Astrofísica**. Brasília, DF, 2003. Disponível em: <[http://staff.on.br/maia/Intr\\_Astron\\_eAstrof\\_Curso\\_do\\_INPE.pdf](http://staff.on.br/maia/Intr_Astron_eAstrof_Curso_do_INPE.pdf)> Acesso em 06 set. 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de educação básica. **Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, DF, 2008. (Orientações curriculares para o ensino médio, v. 2). 137f.

CARVALHO FILHO, J. C; GERMANO, A. S. M. **Astronomia**: interdisciplinar. Natal: EDUFRN, 2007. 300 p. Disponível em: <<http://www.educacional.com.br/upload/dados/materialapoio/124860001/8201206/LEI%20DE%20KEPLER%20E%20A%20GRAVITA%C3%87%C3%83O%20UNIVERSAL.pdf>> Acesso em: 18 out. 2013.

DIAS, C. M. P; SANTOS, W. M. S; SOUZA, M. T. M. A gravitação universal: um texto para o ensino médio. **Caderno Catarinense de ensino de Física**, Florianópolis, v. 26, n. 3, p. 257-271, out. 2004. Disponível em: <<http://efisica.if.usp.br/apoio/textos/040503.pdf>> Acesso em: 18 out. 2013.

FAITANIN, P. Big Bang: um olhar metafísico sobre a origem do universo. **Aquinate**, Rio de Janeiro, n. 2, p. 403-407, 2006. Disponível em: <[ftp://www.spidbrasil.com.br/Spid/site\\_antigo/pdfs/bigbang\\_revisado.pdf](ftp://www.spidbrasil.com.br/Spid/site_antigo/pdfs/bigbang_revisado.pdf)> Acesso em: 08 nov. 2013.

FAGUNDES, H. V. Modelos cosmológicos e a expansão do universo. **Revista brasileira de ensino de Física**, [S.l.], v. 24, n. 2, p. 247-253, jun. 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v24n2/a22v24n2.pdf>> Acesso em: 08 set. 2013.

GLEISER, M. **A dança do universo**: dos mitos de criação ao Big Bang. São Paulo: Companhia das Letras, 1997. 434 p.

GREENE, B. **O universo elegante**: Supercordas, dimensões ocultas e a busca da teoria definitiva. São Paulo: Companhia das Letras, 2001. 592 p.

GUAITOLINI JUNIOR, J. T. **Radiação cósmica de fundo**: anisotropias, polarização e parâmetros cosmológicos. 2012. 147f. Dissertação. (Mestrado em Física) – Departamento de Física, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. Disponível em: <<http://www.cce.ufes.br/pgfis/Disserta%C3%A7%C3%B5es/D-Judismar%20Tadeu%20Guaitolini%20Junior.pdf>> Acesso em: 03 nov. 2013.

GUIMARÃES, V; HUSSEIN, M. S. Nucleossíntese dos elementos e astrofísica nuclear. **Revista USP**, São Paulo, n. 62, p. 74-87, jun./ago. 2004. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revusp/article/download/13343/15161>> Acesso em: 03 nov. 2013.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALKER, J. Relatividade. In: **Fundamentos de Física**: óptica e física moderna. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. Cap. 37, p. 147-148. v. 4.

HAWKING, S. **O universo numa casca de noz**. São Paulo: Mandarim, 2001. 216 p.

HAWKING, S. **Uma breve história do tempo**: do Big Bang aos buracos negros. 3. ed. Lisboa: Gradiva, 1994. 262 p.

HENRIQUE, A. B. **Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia**. 2011. 261f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-19072011-112602/>> Acesso em: 02 nov. 2013.

HENRIQUE, A. B; SILVA, C. Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia: O universo teve um começo ou sempre existiu?. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS, 8, Florianópolis, 2009. **Anais...** Florianópolis: ENPEC, 2009, p. 01-14. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienpec/pdfs/195.pdf>> Acesso: em 06 set. 2013.

LUAND, J. S. A chuva, os átomos e o ser. **Notandum**, São Paulo, ano 15, n. 30, p.39-42, set./dez. 2012. Disponível em: <<http://www.hottopos.com/notand30/39-42JSLau.pdf>> Acesso em: 19 out. 2013.

MARICONDA, P. R. O diálogo de Galileu e a condenação. **Cadernos filosofia e ciência**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 77-160, jan./jun. 2000. Disponível em: <<http://www.ifcs.ufrj.br/~cehc/Artigos/pablo%20mariconda/dialogocondenacaogalileu.pdf>> Acesso em: 06 set. 2013.

MATSAS, G. Relatividade Geral. **Revista USP**, São Paulo, n. 66, p. 22-29, jun./ago. 2005. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revusp/article/download/13428/15246>> Acesso em: 27 out. 2013.

NARLIKAR, J. K. Fred Hoyle: Scientist of multifaceted talents. **Current Science**, Bangalore, v. 81, n. 7, p. 843-845, out. 2001. Disponível em: <<http://www.iucaa.ernet.in:8080/jspui/bitstream/11007/2144/1/624E%20Fred%20Hoyle.pdf>> Acesso em: 08 nov. 2013.

NEVES, M.C.D. A questão controversa da cosmologia moderna: Hubble e o infinito – parte 1. **Caderno brasileiro de ensino de Física**, Florianópolis, v17, n. 2, p. 189-204, ago. 2000a. Disponível em: <<https://150.162.1.115/index.php/fisica/article/viewFile/6774/6242>> Acesso em: 06 set. 2013.

\_\_\_\_\_. A questão controversa da cosmologia moderna: uma teoria e suas incongruências – parte 2. **Caderno brasileiro de ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 2, p. 205-228, ago. 2000b. Disponível em:

<<https://150.162.1.115/index.php/fisica/article/viewFile/6774/6242>> Acesso em: 06 set. 2013.

NOGUEIRA, C; BABICHAK, C. C. A teoria do Big Bang. **Ciência e ensino**, São Paulo, n. 9, p. 18-22, dez. 2000. Disponível em: <<http://prc.ifsp.edu.br/ojs/index.php/cienciaeensino/article/view/73/74>> Acesso em: 06 set. 2013.

OLIVEIRA FILHO, K. S; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**. Porto Alegre: Livraria da Física, 2013. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/livro.pdf>> Acesso em 06 set. 2013.

PAIXÃO, F. J. **A cosmologia de Ptolomeu**: As bases do Geocentrismo. [2011?]. Disponível em: <<http://imre.ifi.unicamp.br/textos/professores/11-a-cosmologia-de-ptolomeu>> Acesso em 13 out. 2013.

PILLING, D. P. A; DIAS, P. M. C. A hipótese heliocêntrica na antiguidade. **Revista brasileira de ensino de Física**, [S.l.], v. 29, n. 4, p. 613-626, 2007. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n4/a21v29n4.pdf>> Acesso em: 09 set. 2013.

PINO, G. G. El passo del geocentrismo al heliocentrismo. **El hombre y la máquina**, Valle del Cauca, n. 22, p. 98-110, ene./jun. 2004. Disponível em: <<http://bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/199/1/T0003350.pdf>> Acesso em: 13 out. 2013.

PORTO, C. M; PORTO, M. B. D. S. M. A evolução do pensamento cosmológico e o nascimento da ciência moderna. **Revista brasileira de Ensino de Física**, [S.l.], v. 30, n. 4, p. 4601-4609, fev. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v30n4/v30n4a15.pdf>> Acesso em: 08 set. 2013.

RIBEIRO, A. M. **Modelos cosmológicos de energia escura**: aspectos teóricos e vínculos observacionais. 2013. 88f. Dissertação. (Mestrado em Física) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013. Disponível em: <<http://juno.unifei.edu.br/bim/0041521.pdf>> Acesso em: 05 nov. 2013.

RIBEIRO, M. B; VIDEIRA, A. A. P. Cosmologia e pluralismo teórico. **Scientiaestudia**, São Paulo, v. 2, n. 4, p. 519-535, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ss/v2n4/a03v2n4.pdf>> Acesso em: 10 set. 2013.

ROSENFELD, R. **Do que é feito o universo?** Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/opiniao/inde07072002.htm>> Acesso em 25 out. 2013.

ROSENFELD, R. A cosmologia. **Física na Escola**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 31-37, 2005. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/cosmologia.pdf>> Acesso em: 02 nov. 2013.

SAGAN, C. **Cosmos**. 7. ed. Lisboa: Gradiva, 2009. 508 p.

SCHROEDER, A. et al. A cosmologia contemporânea. **Revista eletrônica**, v. 3, set. 2012. Disponível em: <[http://www.colegiomaededeus.com.br/revistacmd/revistacmd\\_v32012/artigos/A1\\_A\\_cosmologia\\_contemporanea\\_.pdf](http://www.colegiomaededeus.com.br/revistacmd/revistacmd_v32012/artigos/A1_A_cosmologia_contemporanea_.pdf)> 06 set. 2013.

SINGN, S. **Big Bang**. 2. ed. Rio de Janeiro: Record, 2010. 499 p.

SOARES, D. O universo estático de Einstein. **Revista brasileira de ensino de Física**, [S.l.], v. 34, n. 1, jan./mar. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v34n1/v34n1a02.pdf>> Acesso em: 25 out. 2013.

SOUZA, F. H; KUCHLE, J; AMANTE, R. H. **Medição de vazão por efeito Doppler**. 2009. Trabalho apresentado como requisito para aprovação na disciplina de Medições térmicas, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica, Energia e Fenômenos de Transporte, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://143.54.70.55/medterm/20091/Medidor%20Doppler%20de%20Vaz%C3%A3o.pdf>> Acesso em: 02 nov. 2013.

STEINER, J. E. A origem do universo. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 20, n. 58, p. 231-248, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v20n58/20.pdf>> Acesso em: 06 set. 2013.

TOSSATO, C. R. Copernicanismo e realismo: rumo à unificação entre astronomia e cosmologia. **Scientiaestudia**, São Paulo, v. 1, n. 4, p. 553-564, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ss/v1n4/a07v1n4.pdf>> Acesso em: 08 set. 2013.

VELTEN, H. E. S. **Quando gravitação e cosmologia destoam do padrão**: testando MOND e modelos de unificação do setor escuro. 2011. 168f. Tese. (Doutorado em Ciências Físicas) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito

Santo. Espírito Santo. Disponível em: <<http://www.cce.ufes.br/pgfis/Teses/T-Hermano%20Endlich%20Schneider%20Velten.pdf>> Acesso em: 02 nov. 2013.

WAGA, I. Cem anos de descobertas em cosmologia e novos desafios para o século XXI. **Revista brasileira de ensino de Física**, [S.l.], v. 27, n. 1, p. 157-173, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v27n1/a18v27n1.pdf>> Acesso em: 06 set. 2013.