

2. Textos utilizados atividade II

2.1 Big Bang Brasil: ¹

Parte I: universo estático

Bial - Olá, pessoal! Está começando mais uma edição do nosso BBB! É o Big Bang...

Torcida no estúdio - Brasiiiiil...

Bial - Vamos lá, então, que o programa está quente, muito quente hoje. Quente e denso. A casa andou fervendo nos últimos dias. Mas, antes de mais nada, vamos ver como estão os nossos "brothers"... pode espiar, pode espiar à vontade! E aí, alemão, como é que está aí? Muita emoção?

Einstein - Pois é, Bial, a coisa aqui está quente mesmo.

Bial - Mas o que aconteceu para te deixar assim?

Einstein - Bem, tudo começou em 1915, quando eu desenvolvi minha teoria da relatividade geral. Ela revelou uma coisa muito incômoda, que deixou todo mundo meio perturbado aqui...

Bial - Vish, alemão, o que você aprontou aí?

Einstein - Você sabe, na relatividade geral eu costurei espaço, tempo, matéria, energia e gravidade, tudo no mesmo pacote. Aí, sabe como é, sem muita coisa para fazer aqui dentro da casa, decidi iniciar uma continha. Coisa simples, para flexionar os músculos cerebrais -- eu adoro malhar, sabe?

Bial - Noooossa... que conta foi essa, seu Einstein?

Einstein - Bem, decidi aplicar as equações da relatividade geral ao universo inteiro como se eu fosse calcular o que acontece com o cosmos todo se ele for representado pela minha teoria. E aí aconteceu uma coisa bem desconfortável.

Bial - Eita, esse alemão, viu...

Einstein - Pois é, o que minhas contas mostraram é que o universo não podia estar parado -- ele devia estar ou se contraindo, ou se expandindo.

Bial - Que absurdo, alemão!

Einstein - Concordo. Tanto que decidi mudar a teoria no ano seguinte para impedir isso, incluindo uma letra lambda nas equações, de modo a fazer com que o universo ficasse paradinho, do jeito que devia...

¹ Este texto foi adaptado a partir de <http://ceticismo.wordpress.com/2007/10/24/big-bang-brasil/>.

Parte II: universo em expansão

Friedmann - Mas alemão, as suas contas estavam certas! A equação original era a mais bonita, você deveria ter acreditado no que ela sugeria... eu mesmo conferi os cálculos.

Bial - Nossa, que polêmica, hein? Para resolver, vamos chamar agora um brother zen, o nosso monge... George Lemaître! E aí, George?

Lemaître - Fala, Bial!

Bial - Tudo bom aí?

Lemaître - Mais ou menos, Bial.

Bial - Por quê?

Lemaître - É o alemão, Bial. Ele andou me colocando contra todo mundo. Diz que as minhas idéias são absurdas. E olha que elas nasceram da própria teoria dele!

Bial - Ih, alemão, o que aconteceu?

Einstein - O nosso querido padre belga devia ficar mais no confessionário, isso sim. Depois de fazer cálculos com base na minha relatividade, em vez de adotar a versão com o lambda, ele apostou na versão original da teoria e agora defende a idéia de que o universo inteiro nasceu de algo como um "átomo primordial", que explodiu e deu origem a tudo que vemos. Uma bobagem.

Lemaître - Alemão, pára com isso. Você me magoa quando diz que minhas conclusões não têm valor.

Bial - Vish, que bagunça. Fecha o som da casa!

Agora vamos ver uma coisa que aconteceu em 1931, com um dos nossos brothers mais queridos, Edwin Hubble.

Hubble - Ih, olha isso aqui! Veja só, eu estava analisando a luz dessas galáxias e parece que todas elas estão se afastando de nós. Que estranho.

Bial - E agora, o que pode ser isso? Vamos dar uma espiadinha!

Einstein, Lemaître, Friedmann e Hubble discutem.

Bial - E aí, quem é que vai se explicar? Hubble?

Hubble - Eu não. Eu só fiz as medidas. Não gosto de me intrometer nessas discussões cosmológicas.

Bial - Monge?

Lemaître - É óbvio, Bial! Se as galáxias parecem estar todas se afastando de nós, é claro que elas já estiveram muito mais próximas antes.

Einstein - Tá, eu tenho de admitir que essas espiadas do Hubble parecem apontar para o fato de que o universo já foi no passado muito mais compacto, e não dá para negar que ele está hoje em expansão.

Bial - Ih, alemão, então aquele negócio de lambda era tudo bobagem?

Einstein - Pois é, Bial. O maior erro da minha carreira.

Bial - Olhaí... confissões no BBB! Mas que bom, parece que tudo se acomodou, com os brothers todos aceitando que o universo nasceu de um ponto muito pequeno e denso...

Parte III: a controvérsia entre Big Bang e Estado Estacionário

Bial - Olhaí... confissões no BBB! Mas que bom, parece que tudo se acomodou, com os brothers todos aceitando que o universo nasceu de um ponto muito pequeno e denso...

Hoyle - Todos não, Bial! Esse negócio de Big Bang é tudo bobagem!

Bial - Ué, mas e as espiadinhas do Hubble?

Hoyle - Elas mostram que o universo é dinâmico, mas eu acho um absurdo dizer que ele "nasceu" num ponto do tempo, a partir de um "átomo primordial", como sugere o monge. Isso é coisa de religioso mesmo.

Lemaître - Ei, perai, perai. Você sabe muito bem que eu não misturo a minha fé com a cosmologia -- minhas conclusões sobre o átomo primordial derivam da teoria do alemão!

Bial - Esse é o nosso Fred Hoyle, sempre polêmico!

Hoyle - Polêmico não, Bial. É que esse papo de Big Bang não convence mesmo. Mas eu tenho a resposta. Desenvolvi em 1948 uma ótima teoria, chamada de teoria do Estado Estacionário. Ela sugere que o universo na verdade sempre foi assim. As galáxias se afastam mesmo umas das outras, mas matéria surge do nada entre elas para criar novas galáxias, e o universo continua nesse esquema, eterno e sempre parecido.

Gamow - Tsc, tsc, tsc...

Bial - Ih, parece que o George Gamow não concorda. O que foi, George, para você ficar ressabiado assim?

Gamow - Bial, a teoria do Hoyle não está com nada. Ela não explica como surgiram os atuais átomos do universo. Já o meu modelo do Big Bang explica como apareceram os átomos de hidrogênio e hélio, exatamente nas proporções que existem hoje no cosmos!

Hoyle - Nem vem, seu Gamow, nem vem. Você sabe muito bem que essa explicação não serve de nada, pois não explica como surgiram os outros átomos, além do hidrogênio e do hélio. O que explica isso na verdade é a minha teoria sobre a formação de núcleos atômicos no interior

das estrelas! É de lá que nasceram os elementos químicos mais pesados que o hidrogênio e o hélio!

Bial - *Ih, que confusão, que confusão! Fecha o som da casa! O Big Bang Brasil está pegando fogo! Vamos deixar os brothers lá se matando, porque daqui a pouco tem o paredão! Gamow e Hoyle vão se enfrentar! Qual teoria vence? A teoria padrão do Big Bang, desenvolvida por Gamow, ou a do Estado Estacionário, por Hoyle? Vamos dar uma espiadinha?*

Parte IV: A radiação cósmica de fundo e o desfecho da controvérsia

Einstein, Friedmann, Lemaître, Gamow e Hoyle estão discutindo, quando Robert Dicke decide entrar na conversa.

Dicke - *Já sei! Tem uma coisa que pode confirmar se o universo "nasceu" de um ponto muito denso e quente, como diz a teoria do Big Bang de Gamow, ou se ele vive num Estado Estacionário, como diz o Hoyle. Se ele tiver "nascido" do Big Bang, ele deve ter uma radiação vinda de todas as direções -- uma espécie de eco dessa fase altamente compacta do universo.*

Gamow - *Grande novidade! Eu já tinha previsto isso em 1948, e você apresenta essa idéia como se fosse nova. Tsc, tsc, tsc...*

Dicke - *Ei, nem sabia que você já tinha dito isso, George.*

Gamow - *Pois é, se alguém puder detectar essa radiação de fundo...*

Comentar a carta de Gamow a Dicke, tentando convencer a todos de que ele já havia previsto a radiação, além das diferentes previsões de outras teorias alternativas.

Bial - *E aí, Dicke, você vai dar uma espiadinha nessa radiação?*

Dicke - *Vou, Bial. Já estou desenvolvendo um aparelho para detectá-la, se ela existir mesmo...*

Penzias - *Póparar, póparar! Olha aqui o que eu detectei na antena em que trabalho lá nos Laboratórios Bell!*

Dicke - *Ih, fomos furados, rapazes.*

Bial - *Que moraaaal... Arno Penzias diz ter encontrado a radiação cósmica de fundo, uma relíquia de uma época apenas 300 mil anos após o Big Bang.*

Penzias - *Eu e o meu amigo Wilson detectamos esse negócio meio sem querer, mas agora não temos dúvidas: é a radiação do Big Bang.*

Gamow - *CQD, amigo Hoyle, CQD.*

Hoyle - *Absurdo. Esse Big Bang é absurdo. As coisas podem parecer boas para a sua teoriazinha agora, mas veja só: eu acabo de desenvolver a minha sensacional teoria do estado quase estacionário, que responde até pela radiação cósmica de fundo!*

Bial - *Ih, Hoyle, você não está forçando a barra, não?*

Gamow - *É, Bial, o cara não desiste.*

Hoyle - Não adianta. A radiação me pegou de surpresa, mas existe um problema que ninguém está mencionando. A radiação aparece exatamente com a mesma intensidade em todas as direções do universo. Isso indica que o universo foi muito homogêneo no passado e, se isso é resultado de um Big Bang, o universo hoje jamais teria as galáxias que têm, pois era homogêneo demais para evoluir para o mundo de hoje, que é cheio de vazios, com algumas poucas regiões concentradas de matéria.

Gamow - Calma, Hoyle. As variações na radiação cósmica vão aparecer. Falta apenas desenvolver os instrumentos para detectar essas flutuações diminutas.

Bial - Fecha o som da casa! Quem será que tem razão, Gamow ou Hoyle? Vamos dar um espiadinha...

Einstein, Friedmann, Lemaître, Gamow, Hoyle e Dicke estão discutindo, quando George Smoot decidiu entrar na conversa.

Smoot - Então, eu desenvolvi um projeto aqui que pode resolver a parada...

Todos se viram para Smoot.

Smoot - Um satélite. Um satélite para detectar com alta precisão potenciais variações na radiação cósmica de fundo.

Gamow - Parece ótima idéia. Só no espaço para evitar a interferência gerada pela atmosfera nessas observações delicadas.

Bial - Mas e aí, Smoot, vai rolar?

Smoot - Olha, faz tempo que tenho o projeto, mas a explosão do ônibus espacial Challenger, em 1986, está adiando tudo. Tivemos de cortar o tamanho do Cobe...

Bial - O que é Cobe?

Smoot - É o nome do satélite.

Bial - Ahh... vamos continuar espiando.

Smoot - Mas agora ele está pronto. Vamos lançar e, em 1992, devemos fechar um mapa detalhado da radiação cósmica de fundo.

Bial - Fecha o som da casa! E agora? Estamos chegando ao emocionante final! Quem vai continuar na casa, Gamow ou Hoyle? Vamos ver as torcidas aqui no nosso estúdio!

Torcida do Gamow - ÊÊÊÊÊÊÊÊÊÊ! Big Bang! Big Bang! Big Bang!

Torcida do Hoyle - ÊÊÊ.

Bial - Vamos dar uma espiadinha. E aí, Gamow, está pronto para ver sua família?

Gamow - Nossa, vamos lá!

Batimentos cardíacos de Gamow vão a mil, enquanto ele olha para a tela.

Gamow - Olha lá, todo mundo veio! Mamãe Gamow, tio Gamow, vovô Gamow, vovó Gamow!

Bial - E aí, Hoyle, preparado?

Hoyle - *Eu sei que está todo mundo contra mim, Bial, mas vamos lá.*

Bial - *Olha aí a sua torcida, Hoyle!*

Batimentos cardíacos de Hoyle vão a mil.

Hoyle - *Puxa, mamãe Hoyle, tio Hoyle, vovô Hoyle, vovó Hoyle!*

Bial - *Chegou o grande momento, hein? Estão preparados?*

Gamow - *Sim, Bial.*

Hoyle - *Manda ver, Bial.*

Bial - *E atenção. O George Smoot acaba de enviar aos estúdios da Globo o resultado da medição da radiação cósmica de fundo de 1992. Foi uma disputa acirrada, viu? Mas, com uma diferença de uma parte em cem mil, o Cobe encontrou variações que suportam o... Big Bang!*

Gamow - *Ah, eu sabia, eu sabia, eu sabia!*

Hoyle fica com cara de fossa. Einstein, Friedmann, Lemaître, Gamow, Dicke e Smoot vão abraçar Gamow. Hoyle deixa a casa e vai para o palco com Bial.

Bial - *E aí, Hoyle, tudo bem?*

Hoyle - *É a vida, né, Bial?*

Bial - *Pois é. Mas veja aqui a sua torcida, que veio te receber.*

Hoyle - *Ih, Bial, pode ficar sossegado. Eles acham que sabem de tudo. Hoje é difícil negar que o universo como o conhecemos surgiu num ponto denso e quente e expandiu a partir dali -- essa idéia que eu apelidei de Big Bang lá atrás. Mas ainda tem muita água para correr por baixo da ponte da cosmologia. E mal sabem eles que estão apenas procurando cordas para se enforcar.*

Bial - *É isso aí. Muito já aprendemos sobre a natureza e o surgimento do universo, mas ainda há muito mais pela frente. Pode continuar espiando...*

2.2 O modelo de universo estático de Newton, Einstein e De Sitter

Segundo a teoria formulada por Isaac Newton (1643-1727), a gravidade é uma força de atração entre corpos que têm massa. No entanto, se a força da gravidade é sempre atrativa, é um problema explicar a estabilidade do universo. O que impede o colapso gravitacional de toda a matéria no universo?

Newton já havia percebido este problema. Numa tentativa de solução, ele propôs que o universo seria infinito, com infinitas estrelas cercado certo corpo. Assim, a força gravitacional total se anularia.

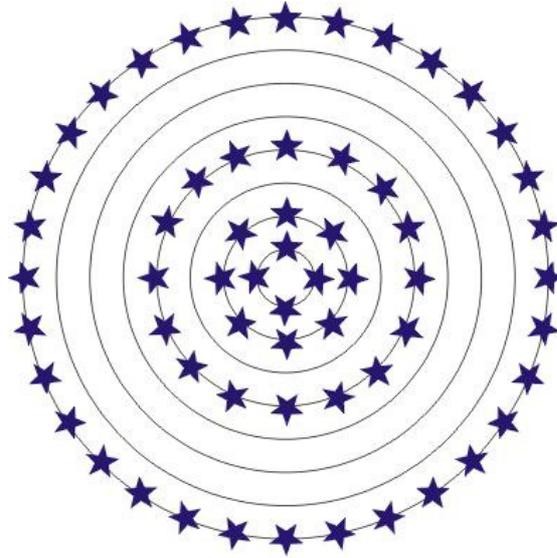


Figura 7: Modelo de universo estático e homogêneo²

Na figura acima, vemos que no modelo newtoniano a distribuição de estrelas seria homogênea, já as distâncias entre elas seriam iguais, assim como a massa de cada estrela. Neste modelo infinito de universo, a soma das forças gravitacionais sobre cada estrela é nula, de forma que o universo possa ser estático³.

Agora imagine que, por um motivo qualquer, uma estrela saia do lugar e se choque com outra, formando uma estrela com o dobro da massa. Essa estrela tenderá a atrair mais as estrelas ao redor. Essa pequena instabilidade já seria suficiente para fazer com que as estrelas fossem se agrupando cada vez mais e o universo acabaria entrando em colapso.

A partir de 1917, Einstein desenvolveu uma teoria cosmológica, tentando explorar os resultados de suas equações da relatividade geral para o universo como um todo. No entanto, persistia o problema sobre a estabilidade do universo, que já havia sido percebido por Newton.

Não se pode dizer que Einstein inventou a cosmologia⁴, mas ele contribuiu para o estabelecimento das bases matemáticas necessárias para os desenvolvimentos seguintes: uma nova teoria física para o tratamento de fenômenos gravitacionais que ficou conhecida como relatividade geral (Kragh 1996, p.6; Videira & Ribeiro 2004, p. 520).

Até a década de 1920, o espaço era normalmente visto com um lugar vazio, sereno e estático. As estrelas se distribuíam pelo universo, com planetas girando ao redor do Sol. Mas de acordo com o modelo de Einstein, o universo não poderia ser *estático*. Para resolver este problema ele introduziu em suas equações um fator chamado *constante cosmológica*, que representa um tipo de repulsão, equilibrando a atração gravitacional e permitindo a existência de um universo estático, em equilíbrio.

² Esta figura foi retirada de: http://www.asterdomus.com.br/Artigo_porque_a_noite_e_escura.htm, acesso em janeiro de 2010.

³ O modelo de universo estático é *em média* estático. Não quer dizer que não existam quaisquer movimentos de corpos celestes (Waga 2005, p. 161).

⁴ Neste trabalho vamos estudar a cosmologia desenvolvida após a Relatividade geral, com apenas uma leve introdução aos problemas cosmológicos abordados a partir da física newtoniana Para maiores detalhes sobre a cosmologia pré-relativística ver (Kragh 1996, p. 3-7; North 1965).

A introdução dessa constante em suas equações foi bastante controversa. Para muitos foi uma modificação artificial, não muito bem recebida. Einstein admitiu que a introdução da constante não era justificável pelo conhecimento cosmológico da época. Por outro lado, para outros autores, introduzir artificialmente essa constante era o mais sensato a se fazer, já que o universo parecia ser estático. De forma geral, a constante cosmológica acabou sendo admitida como uma possibilidade a ser investigada (Martins, R. 1994, p. 136, Kragh 1996, p.9).

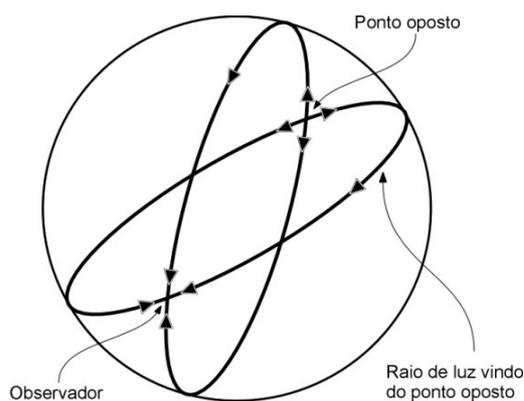


Figura 8: Espaço curvo no modelo de Einstein⁵

O universo de Einstein era finito e ilimitado, num espaço curvo fechado. A figura acima mostra que um raio de luz emitido por um observador na Terra vai viajar por todo o universo (em uma geodésica) e vai acabar voltando ao ponto de partida. Vemos assim que o espaço curvo tridimensional do universo de Einstein é finito, mas não tem um limite ou fronteira: não se chega nunca ao lugar onde ele termina, por isso é ilimitado.

Em 1917, dois anos depois da publicação da teoria da relatividade geral, Einstein publicou seu famoso modelo de universo com a constante cosmológica, acreditando que sua solução seria a única possível.

Contudo, no mesmo ano Willem de Sitter (1872-1934), um matemático, físico e astrônomo holandês, publicou

outra solução para as equações de Einstein, que hoje é conhecida como modelo de universo de De Sitter. Trata-se de um universo estático, porém sem matéria (Kragh 2004, p. 74).

2.3 Modelos de universo em expansão de Friedmann, Lemaître e Eddington

Na atividade I estudamos alguns dos modelos de Friedmann a partir de uma analogia clássica. Vamos agora apresentar alguns dos seus resultados deduzidos a partir das soluções das equações da relatividade geral. A figura abaixo ilustra alguns dos modelos de universo estudados por Friedmann:

⁵ Esta figura foi adaptada a partir de Harrison 1981, p. 294.

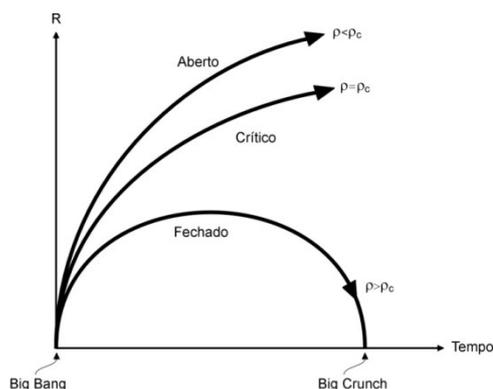


Figura 9: Tipos de universo nos modelos de Friedmann⁶

De acordo com modelos de Friedmann o que determina a evolução do universo é a sua densidade de matéria. Podem ocorrer três tipos de universo:

1. Se a densidade for alta a atração gravitacional é muito forte, de forma que a expansão é interrompida e o universo aumenta de tamanho até um ponto máximo e então volta a contrair e o raio tende a zero novamente. Esse tipo de universo é chamado *fechado e finito*.
2. Se a densidade for baixa, a expansão continua indefinidamente e o universo é *aberto e infinito*.
3. O estado intermediário entre esses dois regimes é chamado *universo crítico*.

Ele se expande cada vez mais lentamente, até atingir uma velocidade marginal. No limite, a uma distância infinita, a velocidade de expansão seria nula. Esse tipo de universo é chamado *marginalmente aberto*.

O tipo de universo fechado pode ser também *cíclico*. O universo se expande, chega a um máximo, volta a se contrair até que possa começar uma nova expansão, uma nova contração e assim o ciclo poderia se repetir. A figura abaixo mostra que este tipo de universo contém vários pontos em que o tamanho do universo é nulo.

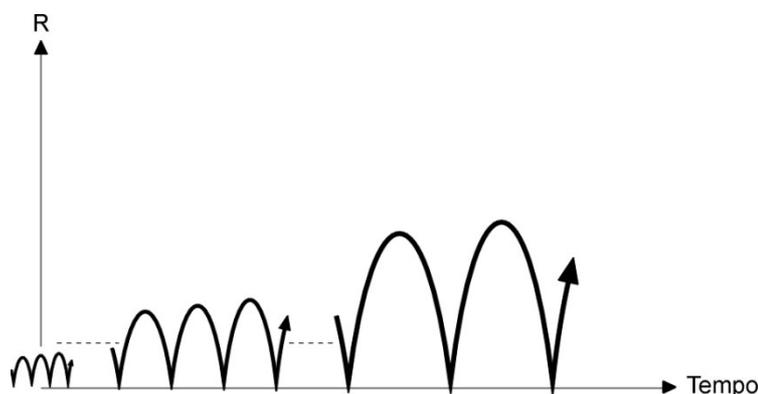


Figura 10: Universo oscilante⁷

Friedmann era particularmente fascinado por essa possibilidade de universo oscilante: *Alguns casos também são possíveis em que o raio de curvatura muda periodicamente: O universo contrai em um ponto*

⁶ Esta figura foi adaptada a partir de Harrison 1981, p.298.

⁷ Esta figura foi adaptada a partir de Harrison 1981, p. 299. O raio do universo torna-se cada vez maior por que segundo os estudos de Richard Tolman, a cada ciclo a entropia seria maior e também a quantidade de radiação térmica.

(em nada) e então aumenta seu raio desde o ponto até um certo valor, então novamente diminui seu raio de curvatura, transforma-se num ponto, etc. Isso traz à mente o que a mitologia Hindu tem a dizer sobre os ciclos de existência e também permite falar sobre “a criação do mundo a partir do nada”, mas tudo isso deve ser considerado como fatos curiosos que não podem ser suportados de forma confiável pelos dados observacionais astronômicos inadequados (Friedmann 2000, p. 109 apud Kragh 2004, p. 126).

Os modelos de Friedmann são muito mais matemáticos do que físicos. Ele estava interessado em explorar as soluções das equações de Einstein, mas não em interpretá-las fisicamente. Tanto que em seu trabalho há soluções cuja densidade de matéria é negativa, que não tem significado físico. Ele acreditava que o conhecimento disponível na época não seria suficiente para decidir quais das possíveis soluções seriam correspondentes ao nosso universo. Assim, não se pode dizer que Friedmann propôs *o universo* em expansão, mas sim *um universo* em expansão (Kragh 1996, p. 27).

Georges Lemâitre (1894-1966) foi um padre e cosmólogo belga, que reproduziu os resultados obtidos por Friedmann, sem conhecê-los. No entanto, a abordagem do seu trabalho não era apenas matemática, ele queria explicar o universo real, em que vivemos. Esta diferença fez com que Lemâitre se preocupasse com as evidências observacionais que pudessem dar suporte ao seu modelo (Kragh 2004, p. 129).

Lemâitre nasceu em 1894, em uma família profundamente religiosa. Estudou num colégio de jesuítas. Serviu o exército belga na Primeira Guerra Mundial e então começou sua carreira como físico teórico, ao mesmo tempo em que estudava para se tornar padre na Igreja Católica⁸. Entre 1923 e 1924 estudou em Cambridge onde foi aluno de pós-graduação de Arthur Eddington (1882-1944), quando este já era um renomado astrofísico britânico (Kragh 2004, p. 127).

O modelo de Lemâitre publicado em 1927 foi desenvolvido e apoiado por Eddington, criando uma nova versão da teoria que ficou conhecida como modelo de *Lemâitre-Eddington*. Trata-se de um modelo de universo em expansão que sempre existiu.

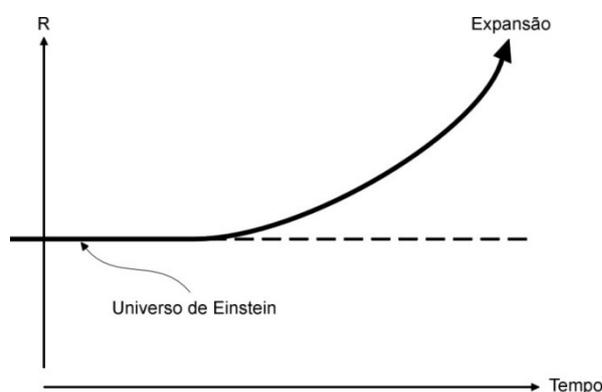


Figura 11: Modelo de Lemâitre-Eddington⁹

⁸ Para mais detalhes sobre a vida e obra de Lemâitre ver (Waga 2005, p. 159; Kragh 1996, p. 28).

⁹ Esta figura foi adaptada a partir de Harrison 1981, p. 302.

A figura acima ilustra este modelo, que inicialmente é estático como o de Einstein, contendo uma distribuição uniforme de matéria em equilíbrio instável que passou a evoluir bem lentamente. Com o tempo, a expansão torna-se cada vez mais rápida.

Porém a concordância entre Lemaître e Eddington não durou muito tempo (Kragh 1996, p. 45). Em 1931, Lemaître introduziu na cosmologia a ideia audaciosa de um começo do universo numa perspectiva realista, contrariando Eddington, que admitiu ter postulado um passado infinito, porque a ideia de um começo no tempo lhe parecia desagradável. Em um texto curto publicado na revista *Nature*, ele escreveu que discordava de Eddington, quando este afirmava que “*filosoficamente, a noção de um começo da ordem atual da natureza é repugnante para ele. Eu estou inclinado a pensar que o estado atual da teoria quântica sugere um começo do mundo bem diferente da atual ordem da Natureza. (...) podemos conceber o começo do universo na forma de um único átomo, cujo peso atômico é dado pela massa total do universo. Este átomo altamente instável, teria começado a se dividir, fragmentando em pedaços cada vez menores numa espécie de super processo radioativo*” (Lemaître 1931).

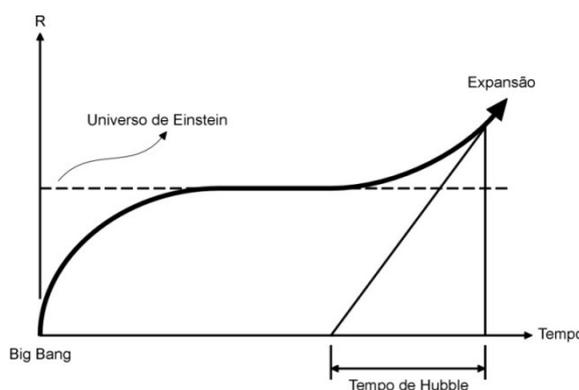


Figura 12: Universo de Lemaître¹⁰

O universo de Lemaître tem um começo abrupto, um “dia sem ontem” (Midbon 2000). Este modelo contém um certo tempo “de hesitação”, em que o universo permanece estático, como o de Einstein e posteriormente passa a se expandir exponencialmente. Este modelo ficou conhecido como “o modelo do átomo primordial” e pode ser visto como um dos precursores do modelo do Big Bang.

2.4 As teorias do Big Bang e do Estado Estacionário

A partir da década de 1930 os modelos de universo em expansão eram os mais aceitos entre os estudiosos da cosmologia. No final da década de 1940 a cosmologia ainda era pouco valorizada e quase não recebia apoio institucional. Não havia cosmólogos, pois os poucos cientistas que se dedicavam a problemas cosmológicos só o faziam em parte do seu tempo de trabalho, enquanto continuavam a realizar pesquisas em áreas do conhecimento mais tradicionais como a astronomia, física e matemática (Kragh 1996, p. 143).

¹⁰ Esta figura foi adaptada a partir de Harrison 1981, p. 302. A expressão tempo de Hubble será explicada na Atividade III.

Admitindo a expansão do universo e utilizando as descobertas da física de partículas, no fim da década de 1940, George Gamow¹¹ (1904–1968), físico russo que se mudou para os EUA, formulou o modelo cosmológico que ficou conhecido como a teoria do big bang.

Em 1946, Gamow propôs o modelo de universo cujo começo era muito quente e denso. A matéria era formada por uma espécie de gás de nêutrons e fótons, chamada “ylem”, que passou esfriar com a expansão. Os nêutrons sofriam reações nucleares (decaimento β), dando origem a prótons e elétrons. Seu modelo era basicamente um modelo de física nuclear para o estágio inicial do universo, que passou a expandir de acordo com as equações de Friedmann-Lemaître (Waga 2005, p.193; Kragh 2004, p.230).

O modelo de Gamow tinha muitos aspectos comuns ao modelo do *átomo primordial* de Lemaître: um universo primordial muito pequeno, quente e denso, que passou a se expandir e esfriar. No instante inicial o volume seria nulo, o que caracteriza a chamada singularidade inicial: toda a matéria existente estava concentrada em um ponto, cuja densidade é infinita.

No começo da década de 1950, a maior parte dos pesquisadores preferia a cosmologia relativística e o universo com uma idade finita, mas dificilmente se considerava que estes modelos correspondessem ao universo real. A teoria do big bang de Gamow ainda não havia se estabelecido como a teoria dominante. A maior parte dos astrônomos aceitava que o universo estivesse em expansão, levando em conta os trabalhos de Hubble e acreditavam que se podia calcular a idade do universo a partir das equações de Friedmann-Lemaître. Porém, evitavam dizer que o universo foi criado (Kragh 1996, p.142).

No fim da década de 1940, uma nova teoria cosmológica rival surgiu em Cambridge, na Inglaterra. Logo ficou conhecida como a cosmologia do estado estacionário. Houve vários modelos de estado estacionário, tanto estáticos quanto em expansão. Nesta pesquisa vamos dar mais atenção ao mais famoso destes modelos, que surgiu como uma teoria rival do big bang de Gamow no fim da década de 1940.

Os astrofísicos austríacos Hermann Bondi (1919-2005) e Thomas Gold (1920-2004) estudaram em Cambridge, onde conheceram o físico e astrônomo inglês Fred Hoyle (1915-2001)¹². Eles frequentemente tinham conversas informais sobre cosmologia, a partir das quais acabaram desenvolvendo em conjunto um novo modelo de universo em expansão. Estes três jovens adotaram a interpretação mais comum sobre os redshift das galáxias: a de que as galáxias estão realmente se afastando. Assim, achavam que o universo não poderia ser estático, como defendeu Einstein. O modelo de Bondi, Gold e Hoyle é *estacionário e em expansão*.

Na primavera de 1949, Hoyle fez uma série de palestras sobre cosmologia para a BBC de Londres, que foram posteriormente transcritas e publicadas na forma de um livro intitulado *The Nature of the Universe* (Hoyle 1950). Tanto o livro quanto as palestras fizeram bastante sucesso ao longo dos anos seguintes.

¹¹ Para mais detalhes sobre a obra e vida de Gamow ver (Waga 2005, p. 162; Kragh 1996, p. 89).

¹² Para mais detalhes sobre a vida de Fred Hoyle, Hermann Bondi e Thomas Gold ver (Kragh 1996, p. 162-169).

Os cinco primeiros capítulos constituíram um bom livro de divulgação de astronomia básica, sobre a origem e o futuro da Terra, do Sol, das Estrelas e dos Planetas. Já os dois últimos capítulos eram um pouco mais controversos. Hoyle deixou claro que seu objetivo não era dar uma visão objetiva e imparcial sobre a cosmologia da época, mas sim sua visão pessoal sobre o assunto (Kragh 1996, p. 191).

No capítulo 6, sobre a expansão do universo, Hoyle menciona as grandes questões da cosmologia: *O que causa a expansão? A expansão significa que conforme o tempo passa o universo observável se torna cada vez menos ocupado por matéria? O espaço é finito ou infinito? Qual é a idade do universo? (...)* Primeiro, eu vou considerar as ideias mais antigas – dos anos 1920 e 1930 - e então vou oferecer a minha opinião.

*De maneira geral, as ideias mais antigas podem ser divididas em dois grupos¹³. Um deles se caracteriza por assumir que o Universo começou há um tempo finito, em uma grande explosão. Nesta suposição a expansão atual é um legado da violência desta explosão. Essa ideia do **big bang** me pareceu ser insatisfatória, mesmo antes que um exame detalhado tenha mostrado que ela leva a sérias dificuldades* (Hoyle 1950, p.120).

A expressão *big bang* foi popularizada por Hoyle, que se referiu de uma forma irônica, nestas palestras da BBC, à teoria “que começou há um tempo finito em uma grande explosão”. O trio de Cambridge concordava que a teoria de Gamow tinha sérios problemas como chamado “problema da idade do universo” (que será apresentado na Atividade III), as dificuldades para explicar a origem dos elementos químicos e a necessidade de postular uma criação abrupta.

Em dezembro de 1946, pouco antes de Gold propor a ideia da criação contínua de matéria, Hoyle estava pesquisando sobre a formação dos elementos pesados nas estrelas. Ele era um crítico da proposta de Gamow de que os elementos pesados teriam surgido durante um estágio primordial do universo e investigava a possibilidade de que eles fossem fabricados nas estrelas. Uma pergunta que surgiu de seu trabalho, feita por seu ex-supervisor, era “De onde veio o hidrogênio?”. Isso fez com que ele estivesse bastante receptivo para a ideia de Gold, quando ela surgiu. (Kragh 1996 p.176).

Até a primavera de 1947, Hoyle, Bondi e Gold tinham uma ideia vaga de sua teoria do estado estacionário. Para torná-la publicável era preciso criar argumentos quantitativos e embasados pelas observações disponíveis. Apesar de os três terem contato constante nas contínuas discussões em Cambridge, as ideias de Bondi e Gold eram ligeiramente diferentes das de Hoyle. Sendo assim, a teoria foi publicada pela primeira vez em dois artigos diferentes na revista *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* de 1948 (Hoyle 1948) e (Bondi & Gold 1948). No entanto, conforme as duas versões da teoria foram

¹³ Adiante Hoyle descreve o outro grupo, que é dado pelas teorias com a constante cosmológica positiva, como o modelo de Lemaître cuja solução para o problema da idade do universo também foi descrita por Gamow e foi exposta na seção 5.5.1 (Hoyle 1950, p. 120-121).

enfrentando cada vez mais opositores, as duas versões acabaram sendo vistas como representações diferentes da mesma teoria, a teoria do estado estacionário (Kragh 1996, p. 187).

Em 1948, Gold e Bondi propuseram uma versão mais qualitativa da teoria do estado estacionário, partindo de dois postulados que se relacionam entre si:

1. O universo deve ter sempre o mesmo aspecto, em larga escala, para qualquer observador, em qualquer posição no espaço e no tempo.
2. Como o universo está em expansão, para a densidade média se manter constante, a matéria deve ser continuamente criada numa taxa determinada pela velocidade de expansão (Kragh 1996, p. 142).

O primeiro dos postulados é conhecido como Princípio Cosmológico Perfeito. Este universo é homogêneo e isotrópico no tempo e no espaço, ou seja, todos os lugares do universo são semelhantes no tempo e no espaço, pois não há nenhum observador privilegiado.

Sendo assim, num universo estacionário a taxa de expansão é constante e nunca pode mudar. Os componentes do universo, como as galáxias, estrelas e planetas envelhecem, mas novos átomos são criados para substituí-los, de forma que a idade média dos corpos do universo é sempre a mesma (Harrison 1981, p. 92).

Bondi e Gold afirmaram que as leis da física devem ser constantes, para que os experimentos na terra sejam reprodutíveis. Argumentaram que o universo não pode mudar em larga escala, pois mudanças no universo acarretariam mudanças nas leis da física¹⁴. Assim, eles partiram do postulado do princípio cosmológico perfeito por razões puramente filosóficas (North 1965, p. 211, Kragh 1996, p.182).

¹⁴ Esta noção foi influenciada pelo chamado Princípio de Mach, segundo o qual todas as forças inerciais são causadas pela distribuição de matéria no universo. Este princípio também foi bastante influente sobre a formulação de Einstein da teoria da relatividade geral (Harrison 1981, p. 176).