



**FILIPPE ALVES PEREIRA BENTO**

**COSMOLOGIA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: ESTUDO  
HISTÓRICO-CONCEITUAL DA COSMOLOGIA MODERNA E  
UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS  
BRASILEIRO**

**LAVRAS-MG  
2021**

**FILIPPE ALVES PEREIRA BENTO**

**COSMOLOGIA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: ESTUDO HISTÓRICO-  
CONCEITUAL DA COSMOLOGIA MODERNA E UMA PROPOSTA PARA O ENSINO  
DE CIÊNCIAS BRASILEIRO**

Dissertação de Mestrado apresentada à  
Universidade Federal de Lavras, como parte das  
exigências do Programa de Pós-graduação em  
Educação Científica e Ambiental, para obtenção  
do título de mestre.

Prof. Dr. José A. C. Nogales Vera  
Orientador

**LAVRAS-MG  
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Bento, Filipe Alves Pereira.

Cosmologia moderna no ensino médio: estudo histórico-conceitual da cosmologia moderna e uma proposta para o ensino de ciências brasileiro / Filipe Alves Pereira Bento. - 2021.

164 p.

Orientador(a): José Alberto Casto Nogales Vera.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. cosmologia moderna. 2. ensino médio. 3. ensino de ciências.

I. Vera, José Alberto Casto Nogales. II. Título.

**FILIPPE ALVES PEREIRA BENTO**

**COSMOLOGIA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: ESTUDO HISTÓRICO-  
CONCEITUAL DA COSMOLOGIA MODERNA E UMA PROPOSTA PARA O ENSINO  
DE CIÊNCIAS BRASILEIRO**

**MODERN COSMOLOGY IN HIGH SCHOOL: A HISTORICAL-CONCEPTUAL  
STUDY OF MODERN COSMOLOGY AND A PROPOSAL FOR BRAZILIAN SCIENCE  
TEACHING**

Dissertação de Mestrado apresentada à  
Universidade Federal de Lavras, como parte das  
exigências do Programa de Pós-graduação em  
Educação Científica e Ambiental, para obtenção  
do título de mestre.

APROVADO em 23 de Agosto de 2021  
Dra. Karen Luz Burgoa Rosso - UFLA  
Dra. Laysa Gonçalves Martins - EPCAR

Prof. Dr. José A. C. Nogales Vera  
Orientador

**LAVRAS- MG  
2021**

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) ou Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG)

Agradeço à Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Ambiental.

## RESUMO

A cosmologia moderna é uma ciência que tem como objetivo entender o passado, presente e possível futuro da estrutura em larga escala do universo. O presente trabalho visou pesquisar e refletir sobre o ensino dessa ciência no contexto da educação brasileira básica, mais especificamente, nos anos do ensino médio. Avaliar a importância do tema e sua inserção nas aulas de ciências, assim como pesquisar seus fundamentos históricos, conceituais e educacionais, a fim de se construir um modelo do atual cenário educacional brasileiro frente à cosmologia moderna, constituiu a primeira parte do trabalho. Tendo sido tal cenário construído, foi proposto a elaboração de um livro didático sobre o tema, voltado especialmente para professores do ensino médio, o qual incluiu, inclusive, experimentos práticos relacionados ao assunto de cada capítulo, o que foi um diferencial em relação à maioria dos materiais já elaborados destinados a essa finalidade. Dessa forma, através do desenvolvimento do livro sobre cosmologia moderna para o ensino médio, se consegue uma proposta objetiva da inserção da cosmologia para ser considerada pela comunidade da educação científica brasileira.

**Palavras-chave:** cosmologia moderna; ensino médio; ensino de ciências.

## **ABSTRACT**

Modern cosmology is a science that aims to understand the past, present, and possible future of the large-scale structure of the universe. The present work aimed to research and reflect on the teaching of this science in the context of basic Brazilian education, more specifically, in high school years. Assessing the importance of the theme and its inclusion in science classes, as well as researching its historical, conceptual and educational foundations, in order to build a model of the current Brazilian educational scenario against modern cosmology, constituted the first part of the work. Once the scenario was built, it was proposed to prepare a textbook on the subject, aimed especially at high school teachers, which even included practical experiments related to the subject of each chapter, which was a differential in relation to most materials already prepared for this purpose. Thus, through the development of the book on modern cosmology for high school, an objective proposal for the insertion of cosmology to be considered by the Brazilian scientific education community is achieved.

**Key words:** modern cosmology; high school; science teaching.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 DOCUMENTOS OFICIAIS E ENSINO DE COSMOLOGIA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS E SEUS AUXILIARES.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Como os PCN e demais documentos conversam com a cosmologia? .....</b>	<b>16</b>
<b>3 EDUCAÇÃO CIENTÍFICA NO BRASIL – UM PERFIL DO JOVEM BRASILEIRO .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Os interesses e opiniões dos estudantes brasileiros do ensino médio perante a ciência .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Um perfil mais abrangente - o jovem brasileiro perante a ciência .....</b>	<b>25</b>
<b>4 A COSMOLOGIA NO ENSINO BRASILEIRO .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Cosmologia para professores – uma tentativa de compartilhar conhecimento .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2 Inclusão de Astrofísica e Cosmologia no ensino médio.....</b>	<b>30</b>
<b>4.3 Cosmologia e história em quadrinhos .....</b>	<b>32</b>
<b>4.4 Aprendizagem significativa e material pedagógico sobre cosmologia.....</b>	<b>33</b>
<b>4.5 A discussão sobre as controvérsias histórico-filosóficas da Cosmologia como oportunidade de ensino.....</b>	<b>35</b>
<b>4.6 Mais controvérsias e a elaboração de um jogo didático.....</b>	<b>37</b>
<b>4.7 Problematizações, ensino por investigação e cosmologia.....</b>	<b>38</b>
<b>4.8 A matéria escura como oportunidade de ensino.....</b>	<b>39</b>
<b>4.9 As limitações e problemas da prática da cosmologia em sala de aula .....</b>	<b>40</b>
<b>5 BASES CONCEITUAIS E HISTÓRICAS DA COSMOLOGIA MODERNA PARA O ENSINO .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1 O “porquê” da cosmologia no ensino de ciências .....</b>	<b>42</b>
5.1.1 O ensino da Cosmologia moderna como compromisso social e científico.....	43
<b>5.2 O universe existe?.....</b>	<b>48</b>
5.2.1 Como se conhece(u) o universo (ou parte dele), a partir da cosmologia moderna? Um pouco de História.....	49
5.2.2 Contexto “pré - Teoria da Relatividade Geral”.....	49
5.2.3 A Teoria Geral da Relatividade (TGR).....	52
5.2.4 O nascimento da cosmologia moderna .....	55

<b>6 METODOLOGIA .....</b>	<b>59</b>
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>60</b>
<b>7.1 O livro “Cosmologia para o ensino médio – questionando e conhecendo um pouco sobre o Universo” .....</b>	<b>60</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>70</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O que é o Universo? Ele foi criado ou sempre existiu? Caso tenha tido uma origem, como foi? Como é a sua estrutura, sua forma? Qual o seu tamanho? Existem outros universos? Qual a nossa posição? Quem somos nós nisso tudo? Existirá um fim? Como será o futuro? Embora muitas vezes não tenham sido elaboradas nestas exatas palavras, estas são perguntas que tratam de assuntos anteriores ao próprio homem. São temas que estão presentes desde nossa existência primitiva, constituindo, muitas vezes, a base de mitos e religiões, e até hoje, permanecem sem respostas definitivas. Trata-se de um “debate” travado durante grande parte da história da humanidade, com a participação de religiosos, místicos, filósofos, cientistas e quaisquer outros pensadores e “investigadores do existir” que se interessaram por reflexões dessa natureza, permanecendo ainda “vivo” em nosso tempo, nos surpreendendo e alimentando o *instinto* de explorar o desconhecido. Dessa forma, o presente trabalho procurou levar para o ambiente escolar, mais especificamente aos anos do ensino médio, um pouco da maneira como a ciência aborda essas questões e tenta respondê-las. Para isso foi elaborado um livro didático sobre cosmologia, escrito e dedicado para professores que queiram introduzir tais questões em suas aulas (o livro desenvolvido se encontra no apêndice “A” ao final do documento).

Considerando ser a cosmologia a ciência que trata desses temas diretamente, embora também estejam presentes em outras áreas científicas, decidimos focar nossos esforços e propor nossas ações baseados no seu escopo. Sendo assim, no segundo capítulo da presente dissertação (considerando ser a Introdução o primeiro capítulo), falamos sobre como o tema “Cosmologia” é interpretado e abordado por alguns documentos oficiais do ensino básico brasileiro, tais como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN). Ao pesquisarmos sobre como são as orientações, recomendações, comentários e possíveis abordagens que esses e outros documentos fazem em relação à cosmologia em sala de aula, encontramos muitas referências, explícitas e implícitas, sugerindo fortemente que ela seja um tema abordado juntamente com os alunos, tendo um grande potencial motivador e estruturador para o conhecimento das ciências. No capítulo seguinte, intitulado “Educação Científica no Brasil”, procuramos entender como é o perfil e as opiniões de nossos estudantes em relação à ciência e o seu ensino em nosso país, de modo a saber, entre várias outras coisas, quais são os assuntos e preferências que eles possuem quando aprendem sobre ela. O quarto capítulo pretendeu conhecer e analisar o que tem sido desenvolvido sobre Cosmologia nas atividades escolares do ensino médio, em vários contextos brasileiros. Como é o estado da arte, no

contexto do ensino brasileiro? É o que esse capítulo tenta mostrar. Analisando o que a literatura acadêmica relata, foi possível ver um movimento crescente de trabalhos, principalmente a partir dos anos 2000, no sentido de propor ações e estudos com o intuito de introduzir o tema “Cosmologia” nos anos básicos da educação, principalmente no ensino médio. Também conhecemos trabalhos que tentaram analisar questões e problemas enfrentados pelos professores quando o assunto é ensiná-la para os alunos. A falta de uma formação específica sobre o tema e a pouca disponibilidade de tempo extra para o desenvolvimento desse tipo de atividade, são apontadas como questões problemáticas e significativas em alguns trabalhos analisados. Assim, no quinto capítulo, fazemos um estudo detalhado das bases epistemológicas e conceituais da cosmologia moderna, a fim de se embasar a importância da natureza dessa ciência para professores e alunos do ensino médio no contexto da educação científica.

Voltando um pouco ao assunto da questão do panorama da educação científica no nosso país, gostaria de discutir brevemente alguns dados. Como veremos, pesquisas têm demonstrado que o jovem brasileiro (idade entre 13 e 24 anos) tem interesse pela ciência em geral. No entanto, elas também mostram que o jovem apresenta sérias deficiências em discutir e informar sobre conceitos científicos básicos e simples do cotidiano. Por exemplo, quase a metade dos jovens brasileiros não sabe para quê serve um antibiótico. Mais da metade não confia ou não tem tanta certeza sobre a importância da vacinação. Quase a totalidade desses mesmos jovens se sente muito vulnerável às notícias falsas, relacionadas a temas científicos, e confessam terem muita dificuldade em refletir sobre sua veracidade. Assim, propor ações que intensifiquem e diversifiquem o ensino de ciências pode ser uma alternativa que contribua para colocar o jovem brasileiro em um contato maior com temas científicos, assim como os pensamentos e formas de agir da ciência. Essa é uma das premissas para incentivar o ensino de ciências por meio de temas motivadores e, no nosso caso, a cosmologia assume esse papel.

Analisando-a de um ponto de vista mais profundo, podemos dizer que a cosmologia também trata de reflexões existenciais muito comuns ao comportamento humano, principalmente, questionamentos presentes durante a fase da adolescência. Essa é uma referência que os próprios Parâmetros Curriculares Nacionais fazem, os quais discutiremos no capítulo referente a eles, tal como já foi mencionado. A questão que os PCN apontam como principal, nesse contexto, é a necessidade da escola fornecer conteúdo aos alunos, de forma que eles tenham liberdade e criticidade para formular suas próprias respostas a perguntas envolvendo os questionamentos existenciais. Como será analisado, é necessário

que a escola seja um ambiente no qual o estudante possa estar em contato com ideias e conhecimentos que o permita formar uma visão moderna do Universo que o cerca e entender a sua organização. Esta pode ser entendida, simplificada, como outra justificativa para se levar o estudo da cosmologia para a sala de aula.

O livro que desenvolvemos procura abordar os conceitos mais básicos sobre a cosmologia moderna, de forma que o professor, ao final do seu estudo, poderá ter uma compreensão suficientemente adequada para trabalhá-la em sala de aula, discuti-la e pesquisar mais sobre as concepções científicas a respeito da estrutura e organização do Universo, em eras e escalas diferentes.

É importante ressaltar que este trabalho é sobre cosmologia e não sobre astronomia geral, visto que a confusão entre os significados é muito comum. De uma forma simplificada, podemos dizer que a cosmologia é um campo específico da astronomia. Específico, porém, não restrito a ela, porque também há elementos da filosofia presentes no trabalho dos cosmólogos. Enquanto a astronomia pode ser considerada como um campo mais vasto, o qual engloba, por exemplo, a astrofísica e a astrobiologia, a cosmologia pode ser classificada como um desses campos. Nessa concepção, ela será a ciência responsável, na maioria das vezes, por lidar com as questões do Universo, numa escala muito superior ao que, por exemplo, a astrofísica e qualquer outra área da astronomia lidam. Conceitualmente, podemos dizer que a cosmologia investiga a origem, o presente e o futuro do Universo, como também a sua estrutura, baseada em elementos cujas proporções são iguais ou superiores às das galáxias. Assim, não estudaremos aqui, por exemplo, separadamente, os planetas, ou o sistema solar, cometas e estrelas.

O recorte que a cosmologia propõe está muito mais direcionado a entender, dentre outras coisas, como e porque o conjunto desses elementos, e outros que povoam o Universo, estão dispostos pelo espaço da maneira como estão, assim como conhecer a sua dinâmica. Por que a maioria das galáxias e aglomerados estão se afastando, uns dos outros, aceleradamente? Essa é uma de tantas outras ótimas e desafiadoras perguntas cosmológicas em aberto. Dessa forma, estudar os grandes agrupamentos (galáxias e aglomerados) se torna mais abrangente, para esse propósito, do que focar as atenções em elementos menores e separados, como um planeta, ou até mesmo um sistema planetário. Mas isso não quer dizer que esse tipo de estudo não aconteça na cosmologia! Buracos negros, por exemplo, também estão dentre os temas cosmológicos, e são importantes objetos de pesquisas e também farão parte do nosso material. Baseados nesse pensamento, para um esclarecimento ao leitor, e com o objetivo de tornar a leitura mais agradável e clara, este parágrafo serviu para

identificar a natureza do conhecimento que objetivamos tratar no texto – o passado, o presente e o futuro do Universo, em larga escala.

Cosmologia, nessa dissertação, em quase sua totalidade, é tratada pelo termo “cosmologia moderna”. Decidimos *criar* essa nomenclatura, a fim de delimitar bem, aos leitores, de qual *cosmologia* estamos falando. Questionar sobre o Universo, de onde viemos, para onde vamos, entre outras várias perguntas da mesma natureza instigante, faz parte da cosmologia. Portanto, não é errado dizer que existam várias cosmologias.

Como tratamos um pouco acima, o debate cosmológico, além de antigo, é composto por muitas vozes (ciência, religião, misticismo...), sendo necessária a inclusão de termos adjetivos para recortar o contexto ao qual estamos nos referindo, quando mencionamos a palavra “cosmologia”. Julgar que esse simples termo (cosmologia) já se refere à cosmologia científica é uma visão preconceituosa e ingênua de mundo. Os babilônios tinham a sua cosmologia, assim como os povos indígenas sulamericanos e os aborígenes das ilhas oceânicas cultivam muito das suas até hoje (tratamos de algumas delas no nosso material). Kant também desenvolveu importantes reflexões cosmológicas sobre a possível extensão do Universo e a existência de fronteiras e outros *mundos*. Mesmo dentro da Ciência, podemos falar em cosmologia newtoniana, de forma que é imperativa a necessidade de termos adjetivos, para se referir ao assunto.

Sendo assim, “moderna” fará referência aos estudos científicos cosmológicos realizados a partir do ano de 1915, com a publicação da Teoria Geral da Relatividade de Albert Einstein, até os mais atuais desenvolvimentos e pesquisas da Cosmologia científica.

Um dos autores muito utilizados aqui, o professor e cosmólogo do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), Mario Novello, costuma dizer, em suas várias aulas de introdução à Cosmologia (algumas disponíveis na internet, e as quais faremos alusões no momento correto), como a teoria de Einstein foi importante também nesse contexto e definiu novos rumos para essa ciência a partir de 1915. Dessa forma, falamos também um pouco sobre Teoria Geral e Especial da Relatividade no livro didático.

Aliás, não é somente isso. Além dos tópicos cosmológicos específicos, introduzimos algumas discussões sobre ciência, método científico e conceitos básicos da Teoria Quântica. Achamos importante falar primeiramente sobre a ciência em geral, pois consideramos essencial promover um aprendizado crítico e contextualizado e, também, incentivar que esse tipo de discussão seja conhecido e praticado pelos professores do ensino básico. Dessa forma, introduzir apenas o conteúdo novo de cosmologia moderna no ensino médio nos parecia incompleto e, naturalmente, “nos pedia” um complemento, o qual veio na forma de

uma discussão sobre algumas características e conceitos da Ciência e do importante método científico (é o primeiro capítulo do livro didático). Entendemos que *conversar* antes sobre como a Ciência propõe a abordagem da natureza e do mundo, e quais são as características que tornam este tipo de pensamento diferente das demais abordagens, prepara um caminho muito mais promissor e motivante ao aprendiz do que simplesmente reproduzir passivamente um conteúdo científico. Aliás, procuramos mostrar que, na nossa interpretação, ciência é muito mais do que apenas disciplinas e um “monte de conteúdo”, mas uma maneira de pensar e viver no Universo.

Gostaria de falar um pouco mais, nesta introdução, sobre as questões apontadas como problemas ao ensino da cosmologia nas escolas. Embora não haja trabalhos específicos sobre essas questões e, ao mesmo tempo, uma avaliação em escala nacional, pudemos encontrar alguns, realizados em escalas locais, que indicam, como já mencionamos, ser a falta de tempo e de conhecimento específico dos professores grandes empecilhos para que a cosmologia não possa ser inserida nas aulas. Assim, o desenvolvimento do livro procurou atender essa situação, sendo ele escrito com informações essenciais, completas e sucintas, de forma que o professor que desejar utilizá-lo, o possa fazer intelectualmente seguro e sem a necessidade de longos períodos de aulas e nem de pesquisa sobre outras fontes. Como diferencial, também adicionamos algumas atividades práticas ao final do material, para que possam ser desenvolvidas juntamente com as aulas. Essa iniciativa é uma forma de aproximar o conteúdo do livro com atividades que os próprios professores e alunos possam realizar de maneira conjunta, com materiais acessíveis e de baixo custo, sendo também uma ferramenta democrática de complementação do aprendizado, uma vez que podem ser realizados sem a necessidade de estruturas de laboratórios e equipamentos muitas vezes distantes da realidade escolar brasileira. Além disso, por meio destes experimentos “se pode ver e vivenciar” aqueles conceitos ou conteúdos estudados durante uma aula.

A proposta da cosmologia moderna como tema a ser trabalhado na sala da aula também pode ser interpretada como um ato de protesto perante o ensino conteudista, voltado apenas aos interesses de mercado. Afinal, qual é a finalidade econômica imediata em estudar se o Universo se expande, se contrai ou se está estático, por exemplo? Embora muitas tecnologias hoje utilizadas na indústria, e que geram bons lucros, tenham vindo de algumas ciências espaciais, não é sobre isso que estamos falando aqui. A questão é a pertinência de temas de natureza “não empreendedora”, nesse caso, os temas cosmológicos e a sua presença no cotidiano escolar. Ou será que nossos estudantes devem aprender a ciência apenas com fins mercadológicos, pensando em futuras ideias “empreendedoras e lucrativas”? Caso

continuemos assim, não só a cosmologia dificilmente fará parte de um currículo oficial escolar, como também a própria concepção sobre ciência e o *pensar científico* ficarão comprometidos, pois, certamente, conceber a ciência como um simples instrumento econômico é errado. Discutiremos um pouco sobre isso no capítulo 4.

Por fim, falando um pouco, em um tom totalmente pessoal e autobiográfico, esse trabalho também foi uma oportunidade de levar para a sala de aula, em forma de livro, o pensamento de cientistas e, ao mesmo tempo, grandes comunicadores da ciência, tais como Stephen Hawking, Mario Novello e, principalmente, Carl Sagan. Este último teve (e tem) um papel fundamental nas minhas ideias, chegando a ser um ato de *homenagem*, utilizá-lo em tantas referências e citações, visto a tamanha influência que o autor desempenhou em minha vida, desde muitos anos atrás. Por que nunca falaram de Carl Sagan em minhas aulas de ciência, nos tempos de escola? Por que nunca nos apresentaram as ideias sobre a importância dela como mecanismo de liberdade, pensamento crítico e democracia? Por que a ciência, tal como discutimos extensivamente em nosso livro, nunca nos foi apresentada como sendo mais uma maneira de pensar e viver do que simples páginas de conteúdo impressas em uma apostila? Foram perguntas que me vinham à mente durante toda a concepção e escrita do livro para os professores. Assim, mais do que ensinar fundamentos de cosmologia moderna, pretendemos também, por meio do livro, fornecer o tipo de visão da Ciência que consideramos ser muito importante para nossos jovens.

Se pensarmos somente sob esse aspecto, *Cosmologia* se torna apenas um *detalhe* no trabalho. Caso fôssemos lidar com um assunto diferente e ensinar, por exemplo, um simples experimento de como e porque uma vela se apaga, ao colocamos um copo de vidro sobre ela, isolando-a do ambiente, faríamos com o mesmo entusiasmo que apresentamos aqui ao falar da cosmologia e essa maneira científica de interpretar o mundo criticamente, sempre questionando o que nos chega como informação. Com certeza, mesmo em um *simples* experimento, falaríamos sobre observação criteriosa, pensamento crítico, hipóteses fundamentadas e muitas outras questões profundas da Ciência.

Terminamos esta introdução com uma citação de Sagan que foi escrita em um artigo de 1989, e que “dá o tom” com o qual todo trabalho foi desenvolvido:

A ciência é muito mais do que um corpo de conhecimento. É uma maneira de pensar. E isso é fundamental para o nosso sucesso. A ciência nos convida a aceitar os fatos, mesmo quando eles não estão de acordo com nossos preconceitos. Ela nos aconselha a levar hipóteses alternativas em nossas cabeças e ver quais são as que melhor correspondem aos fatos. Impõe-nos um equilíbrio perfeito entre a abertura sem obstáculos a novas ideias, por mais heréticas que sejam, e o mais rigoroso escrutínio cético de tudo –

estabelecendo novas ideias e sabedoria. Precisamos da ampla apreciação desse tipo de pensamento. Funciona. É uma ferramenta essencial para uma democracia em uma era de mudança. Nossa tarefa não é apenas treinar mais cientistas, mas também aprofundar a compreensão pública da ciência. (SAGAN, 1989, p7)

## **2 DOCUMENTOS OFICIAIS E ENSINO DE COSMOLOGIA**

Neste tópico apresentamos como o tema cosmologia é abordado oficialmente em alguns documentos e diretrizes do ensino básico brasileiro. Consideramos que ao propor a cosmologia como tema de ensino é essencial que nos atentemos, primeiramente, ao que os especialistas e autoridades da educação brasileira ponderam (e se ponderam) sobre a questão. Longe de ficarmos limitados somente a essas visões consolidadas, é essencial que as conheçamos e façamos reflexões sobre elas, a fim de conferir maior diversidade de abordagens e uma sustentação teórica sólida para o trabalho como um todo.

### **2.1 Parâmetros Curriculares Nacionais e seus auxiliares**

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio (PCNEM) e PCN + Ensino Médio – Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – têm o objetivo de serem documentos de consulta e referência, com conteúdos diversificados e variados, para a educação de jovens e crianças brasileiras localizados em todo o território nacional, contendo sugestões e diretrizes sobre os assuntos e práticas de ensino para os educadores de todas as regiões do Brasil. Uma de suas intenções é socializar o conhecimento, principalmente, para aqueles “que se encontram mais isolados, com menor contato com a produção pedagógica atual” (BRASIL, 1997, p.13).

Enquanto que os PCN são direcionados ao Ensino Fundamental, os PCNEM (BRASIL, 2000) foram concebidos para o Ensino Médio brasileiro. Esses documentos têm caráter direcionador e orientador para a prática educacional, constituindo, assim, referenciais importantes para a elaboração de planos pedagógicos pelas escolas, tanto para as instituições públicas como para as privadas. Como dito, seu caráter não é normativo e nem impositivo, não se constituindo como um currículo idêntico para todas as diversas regiões, culturas e realidades do território nacional, mas sim uma proposta flexível e democrática, que respeita as diversidades socioculturais e também a autonomia das equipes pedagógicas escolares, com o intuito de responder à necessidade de referenciais e organização, visando a uma

educação de qualidade para todos os estudantes. Dessa forma, estar atento às diretrizes norteadoras de ensino propostas nesses documentos é recomendável aos educadores, sejam eles professores, orientadores, diretores e quaisquer demais agentes diretos envolvidos na educação básica, que desejam praticar o ato de educar de maneira democrática e contextualizada com a realidade do país.

O documento PCN+ Ensino Médio – Orientações Complementares Educacionais aos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL 2002) traz contribuições mais detalhadas em relação às disciplinas e assuntos estudados durante os anos do Ensino Médio, servindo de complemento aos PCENEM, que possui propriedades mais gerais. Os PCN + são divididos em 3 grandes áreas do conhecimento, sendo elas: Ciências Humanas e suas Tecnologias, Linguagens Códigos e suas Tecnologias e Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Nesses textos, estão dispostas informações e orientações referentes, por exemplo, a competências a serem trabalhadas em cada disciplina, a temas estruturadores para os assuntos e a conteúdos e habilidades, de modo a auxiliar na preparação de aulas pelos professores.

## **2.2 Como os PCN e demais documentos conversam com a cosmologia?**

A “conversa” desses documentos com a cosmologia pode começar a ser evidenciada, mais especificamente, no PCENEM, na seção introdutória “Conhecimentos de Física”. Nela, após algumas críticas sobre o ensino de Física descontextualizado e reduzido a apenas “novas listas de tópicos de conteúdos”, os autores defendem que a Física a ser ensinada deve explicar vários fatos da vida dos estudantes, sendo um dos exemplos “uma Física que discuta a origem do universo e sua evolução” (BRASIL, 2002, p.23). Neste momento, temos uma ponte direta entre cosmologia e as diretrizes do ensino de Física, pois “Cosmologia é a Ciência que estuda a estrutura, evolução e composição do universo” (ROSENFELD, 2005, p.1). Ainda dentro do contexto entre Cosmologia e Física, uma descrição mais completa pode ser encontrada no livro do físico e cosmólogo Matts Roos “Introduction to Cosmology” (Introdução à Cosmologia):

A cosmologia visa explicar a origem e evolução de todo o conteúdo do Universo, os processos físicos subjacentes e, assim, obter uma compreensão mais profunda das leis da física que se supõe serem válidas em todo o

Universo.<sup>1</sup> (ROOS, 2003, p. 1)

Dessa forma, e para esse trabalho, consideraremos como cosmologia o estudo em larga escala do Universo a partir dos conceitos da Física, nos atentando para as questões sobre seu possível início, seu estado atual e sua evolução no tempo. O termo “moderna”, utilizado no título, é uma referência à cosmologia desenvolvida a partir dos anos dez do século passado, mais especificamente, a partir de 1915, com a publicação da Teoria Geral da Relatividade de Einstein e, em 1917, do seu artigo “Considerações Cosmológicas da Teoria Geral da Relatividade”. Embora Roos (2003) considere o começo da cosmologia moderna a partir de 1929, com a publicação da Lei de Hubble, usaremos a definição cosmologia moderna da maneira como mencionamos, por considerar os acontecimentos de 1915 e 1917 vitais para a cosmologia do século XX. O comentário feito por Barbara Ryden, na introdução do seu livro “Introduction to Cosmology” (Introdução à Cosmologia) (RYDEN, 2017) complementa e exemplifica a abordagem que utilizaremos neste trabalho para o termo cosmologia moderna:

Uma ciência que considera galáxias inteiras como sendo pequenos objetos parece, à primeira vista, muito distante das preocupações da humanidade. Não obstante, a Cosmologia lida com questões que são fundamentais à condição humana [...] “De onde viemos? ”, “O que somos nós? ”, “ Para onde vamos? ” [a] Cosmologia se atraca com essas questões descrevendo o passado, explicando o presente e predizendo o futuro do Universo. Cosmólogos perguntam questões como “Do que é feito o Universo? Ele é finito ou infinito em extensão espacial? Ele teve um início em algum momento no passado? Ele virá a acabar em algum momento do futuro?”<sup>2</sup>. (RYDEN, 2003, p.1)

Phillip James Edwin Peebles, cosmólogo cujo trabalho foi muito significativo para o desenvolvimento da cosmologia a partir da década de 1970, também fala sobre as definições e campos de estudo dessa ciência em seu livro “Principles of physical cosmology” (Princípios de cosmologia física) de 1993, se referindo a ela como uma herdeira das tradições da Física em entender “de onde veio o mundo, para onde está indo e por que” (PEEBLES, 1993, p.13).

---

<sup>1</sup>No original “Cosmology aims to explain the origin and evolution of the entire contents of the Universe, the underlying physical processes, and thereby to obtain a deeper understanding of the laws of physics assumed to hold throughout the Universe”.

<sup>2</sup>No original “A Science that regards entire galaxies as being small objects might seem, at first glance, very remote from the concerns of humanity. Nevertheless, cosmology deals with questions that are fundamental to the human condition [...] “Where do we come from? What are we? Where are we going?” Cosmology grapples with these questions by describing the past, explaining the present and predicting the future of the universe. Cosmologists ask questions such as “What is the universe made of? Is it finite or infinite in spatial extent? Did it have a beginning some time in the past? Will it come to an end some time in the future?”

Retornando ao assunto dos PCN's, os PCN+ Ensino Médio, livro de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, na seção “Competências em Física”, nos quais são apresentadas as habilidades esperadas nessa disciplina pelos alunos ao final do ciclo da educação básica, também faz menções à importância do conhecimento em cosmologia e, conseqüentemente, retomando a importância desse tema na disciplina de Física. A citação ocorre no tópico “Relações entre conhecimentos disciplinares, interdisciplinares e interáreas”:

Adquirir uma compreensão cósmica do Universo, das teorias relativas ao seu surgimento e sua evolução, assim como do surgimento da vida, de forma a poder situar a Terra, a vida e o ser humano em suas dimensões. (BRASIL, 2002, p. 66-67)

Mais uma vez é explícito o apelo ao estudo da cosmologia sob a abordagem da disciplina de Física. Nesse ponto, podemos interpretar que os autores do documento conferem uma dimensão ainda mais profunda ao estudo da cosmologia do que somente aprender sobre as teorias que regem o nascimento, evolução e estrutura do Universo. Ao fazer referência ao ato de situar o planeta e a vida como conhecemos nas dimensões do Universo, pode-se inferir que estudar cosmologia também é uma forma de autoconhecimento. Ao aprender sobre a vastidão do Universo, as escalas de tempo muito superiores aos *tempos comuns* das atividades diárias e a infinita variedade de *outros mundos*, como galáxias e estrelas distantes, é inevitável que o conhecimento sobre si mesmo e suas referências próprias de localização temporal e espacial sofram alguma influência. Essa reflexão sobre nossa existência a partir da cosmologia é discutida também no trabalho de Aguiar (2010, p.16-17):

Este tipo de entendimento leva ao que chamamos de uma “visão cósmica” ou ao menos “visão planetária da humanidade”, posto que na sociedade atual, a palavra sustentabilidade ainda parece carecer de significado: a nossa civilização e nossa convivência com este planeta são, hoje em dia, insustentáveis. Uma visão planetária ou cósmica do ser humano se faz fundamental para constituirmos futuras gerações política, cultural e ambientalmente “corretas”. Porque se nós, seres humanos, compartilhamos com todos os demais seres vivos a mesma atmosfera, os mesmos oceanos, enfim, a mesma pequena rocha que gira ao redor do Sol, é imprescindível percebemos que somos apenas passageiros vivendo [no mesmo planeta Terra]. E para que esse tipo de visão da humanidade se estabeleça, acreditamos ser importante também que as pessoas tenham noção das escalas de tempo envolvidas na formação do nosso planeta, do Universo e do surgimento da vida humana na Terra.

Na mesma discussão, o autor chama a atenção para a possibilidade do estudo em

cosmologia possibilitar uma reflexão maior em relação à brevidade e fragilidade da vida humana e do planeta, frente às dimensões do Universo, ao tomar ciência de que existimos há muito pouco tempo. Reflexão esta, ponderada pelo autor, que pode resultar em um modo de vida mais responsável, com posturas que assegurem o bem-estar do planeta para as gerações futuras, e menos atitudes “planetariamente egocêntricas” (AGUIAR, 2010, p.17). Neste ponto de vista, o estudo de Cosmologia pode ter implicações profundas na formação do estudante, constituindo um tema importante a ser trabalhado na escola.

Avançando na leitura do PCN+ Ensino Médio – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, é possível encontrar mais sugestões relacionadas ao estudo de cosmologia na disciplina de Física. No tópico “Temas estruturadores do ensino de Física”, a discussão começa com as definições e intenções que os autores atribuem a “tema estruturador”. A necessidade da organização das atividades educacionais, no dia-a-dia das salas de aula, é apresentada como sendo essencial para a estruturação do desenvolvimento das habilidades, conhecimentos, competências, atitudes e valores desejados em relação aos alunos. O desenvolvimento das habilidades e competências é colocado como sendo realizado “por meio de ações concretas, que se referem a conhecimentos, a temas de estudo” (BRASIL, 2002, p.69), e dentre estes, por sua vez, alguns apresentam maior potencial para que se trabalhe os conteúdos e habilidades pretendidas. O termo “tema estruturador” aparece, nesse documento, como sendo o agente que relaciona conhecimentos e competências, ou seja, são *estruturadores* da ação pedagógica.

Sobre as características gerais de temas estruturadores em Física no ensino médio, os autores ressaltam a importância de que sejam mais abrangentes do que os vistos durante o período do aluno no ensino fundamental. Eles devem estar relacionados à natureza e fenômenos físicos importantes no mundo atual, contemplar os saberes da Física e permitirem um olhar investigativo sobre o mundo real. Dessa forma, uma das várias sugestões é o tema “Universo, Terra e vida”, apresentado de uma maneira com muitas semelhanças à discussão parcial que Aguiar (2010) faz e que discutimos um pouco acima.

A importância de uma “compreensão cosmológica” atual, servindo como possibilidade de reflexão por parte do estudante sobre seus referenciais de tempo e espaço, expandindo-os, o que resulta em possíveis ações transformadoras da sua realidade, conversa harmoniosamente com os autores:

Finalmente, será indispensável uma compreensão de natureza cosmológica, permitindo ao jovem refletir sobre sua presença e seu “lugar” na história do Universo, tanto no tempo como no espaço, do ponto de vista da ciência.

Espera-se que ele, ao final da educação básica, adquira uma compreensão atualizada das hipóteses, modelos e formas de investigação sobre a origem e evolução do Universo em que vive, com que sonha e que pretende transformar. Assim, Universo, Terra e vida passam a constituir mais um tema estruturador. (BRASIL, 2002, p.70-71)

Assim, a cosmologia como um tema estruturador no ensino médio se torna uma abordagem possível, pela sua natureza de estudo da origem, evolução e estrutura em larga escala do Universo. Assuntos como, por exemplo, a teoria do Big Bang e a origem das partículas, os quais fazem parte do grupo de assuntos apresentados aos alunos e constituintes do livro-guia para professores deste trabalho, se encaixam na abordagem de maneira adequada. Ao estudar a teoria do *Big Bang*, o aluno tem a oportunidade de aprender e refletir sobre uma possível idade do Universo, sobre o conceito de temperatura exibido no comportamento das partículas nos primórdios do Universo e sobre como este conceito, muito comum no nosso dia-a-dia, é fundamental ainda para o desenvolvimento de trabalhos que buscam entender a evolução do Universo. A teoria da formação das partículas também exhibe um vasto campo de possibilidades de aprendizado sobre a estrutura atômica, radiação eletromagnética e comportamento das partículas em ambientes de temperaturas e condições extremas. Esses são apenas alguns de outros assuntos e possibilidades que a cosmologia para o Ensino Médio pode apresentar.

A forma da abordagem dos assuntos não deve ficar restrita apenas aos conceitos estritos da Física. A importância de trabalhar também os fatos históricos do desenvolvimento da Física é grande, e os “PCN+ Ensino Médio – Ciências das Natureza, Matemática e suas Tecnologias” ponderam sobre isso:

Compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época. Compreender, por exemplo, a transformação da visão de mundo geocêntrica para a heliocêntrica, relacionando-a às transformações sociais que lhe são contemporâneas, identificando as resistências, dificuldades e repercussões que acompanharam essa mudança. Compreender o desenvolvimento histórico dos modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, sem dogmatismo ou certezas definitivas. (BRASIL, 2002, p.67)

Estendendo esse conceito para a cosmologia, interpretamos que uma abordagem realmente adequada sobre o tema também deve cobrir os aspectos históricos e culturais, além dos estritamente científicos, para que proposta pedagógica desperte o senso crítico e reflexivo dos alunos em relação não só à cosmologia, mas à ciência, em geral, e seus desdobramentos em sociedade. Nesta perspectiva, a demonstração do caráter social, político

e cultural dos acontecimentos científicos e das pesquisas intende a fornecer maior percepção sobre como essa atividade humana é desenvolvida e suas consequências para o mundo. Quando os autores se referem a “compreender o desenvolvimento histórico dos modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, sem dogmatismo ou certezas definidas”, é possível fazer uma correlação direta a um dos principais tópicos estudados em cosmologia - a expansão do Universo. Explicando brevemente, pois o assunto é tratado com detalhes mais à frente, o fato de estarmos em um Universo onde as evidências científicas apontam que ele está em expansão acelerada do espaço-tempo nem sempre foi aceito, e demorou vários anos para que a compreensão acerca do assunto chegasse a um ponto comum entre os estudiosos. Abordar como a evolução dos modelos foram acontecendo, como ocorreram as confrontações com as observações e teorias, constituem, em seu todo, uma rica forma de trabalhar com os alunos a questão das “certezas definitivas” na ciência e como ela se renova em processos de reavaliação de seus próprios conceitos. Os autores completam, como sugestão em “Unidades temáticas” (mesmo texto), que tratam mais especificamente das orientações em cada tema, que os estudantes devem “conhecer as teorias e modelos propostos para a origem, evolução e constituição do Universo, além das formas atuais para sua investigação e os limites de seus resultados no sentido de ampliar sua visão de mundo” (BRASIL, 2002, p.78).

Fornecer embasamento científico para que os estudantes possam refletir de uma maneira diversa sobre o Universo e suas questões também é mencionado nos “PCN+ Ensino Médio”, no seguinte trecho:

Confrontar-se e especular sobre os enigmas da vida e do universo é parte das preocupações frequentemente presentes entre jovens nessa faixa etária. Respondendo a esse interesse, é importante propiciar-lhes uma visão cosmológica das ciências que lhes permita situarem-se na escala de tempo do Universo, apresentando-lhes os instrumentos para acompanhar e admirar, por exemplo, as conquistas espaciais, as notícias sobre as novas descobertas do telescópio espacial Hubble, indagar sobre a origem do Universo ou o mundo fascinante das estrelas e as condições para a existência da vida como a entendemos no planeta Terra. (BRASIL, 2002, p.78)

Dessa forma, estudar cosmologia, não apenas na disciplina de Física, mas em qualquer outra que se consiga fazer uma ponte entre os assuntos, é uma forma de atender algumas das necessidades inerentes aos alunos, relacionadas às suas indagações existenciais. A questão da cosmologia e interdisciplinaridade conversa diretamente com a “visão cosmológica das ciências” e abre oportunidades para abordagens em outras disciplinas.

Utilizando novamente o fato da expansão do Universo, nesse tópico, podemos fazer

uma ligação direta entre Matemática e cosmologia, pois o conceito de expansão do espaço-tempo pode ser compreendido também fazendo uso do assunto estudado em Matemática sobre equação da reta e funções lineares. Assim, surge uma nova possibilidade de relação entre Física e Matemática, sendo a cosmologia a *mediadora* da relação. Outro exemplo é a formação das primeiras partículas e elementos, tal como descrito na teoria do *Big Bang*, mas, dessa vez, a interdisciplinaridade se dá entre Física e Química. Resumidamente, o processo de formação dos primeiros elementos é descrito como ocorrido a partir de elementos mais leves, culminando nos mais pesados. O estudo da tabela periódica, assunto trabalhado em Química, pode ser abordado, a partir de uma “conversa” entre o estudo das partículas e átomos (do ponto de vista da Física), mais uma vez tendo a cosmologia como *anfitriã*.

Nesse trabalho, existe, inclusive, um tópico que aborda a cosmologia de alguns povos antigos como mesopotâmicos e egípcios. Estabelece-se aí a oportunidade da “visão cosmológica das ciências”, neste caso, entre Física e História, ao mesmo tempo que atende às recomendações já expostas aqui sobre compreender historicamente as mudanças da visão de mundo. Física e História sendo investigadas em uma mesma atividade. Os exemplos certamente não se resumem a esses e, à medida que as práticas pedagógicas avançam em suas possibilidades, outras ações podem ser propostas. O certo é que a cosmologia, sendo trabalhada no ensino médio, embora tenha muitos *assuntos* em comum com a Física, também pode criar e diversificar as propostas com outras disciplinas, atendendo às recomendações do PCN+ Ensino Médio.

Por fim, as atividades experimentais propostas no final das aulas e capítulos (como será visto adiante) visam complementar todo o processo de aprendizado e instigar a capacidade investigativa e curiosidade dos alunos. Também têm a função de inseri-los em processos práticos envolvendo o método científico, exercitando as habilidades de observação, propor hipóteses, testá-las e elaborar teorias. Segundo a Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018) de 2018, a qual também orienta e define habilidades, assuntos e competências a serem trabalhadas com todos os alunos do território nacional, uma das dez competências básicas a serem desenvolvidas na Educação Básica é:

Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e inventar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas. (BRASIL, 2018, p.9)

O mesmo documento aborda a importância de inserir a cosmologia no contexto das

disciplinas de Ciências da Natureza, como necessidade de desenvolver competências específicas no entendimento da evolução e origem da vida e universo, a fim de estimular ações e comportamentos éticos dos alunos perante às suas realidades:

Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis. (BRASIL, 2018, p.556)

Dessa forma, buscamos mostrar que a cosmologia não só é permitida como assunto em sala de aula, mas também sugerida e indicada para um ensino de ciências diversificado, motivador e crítico.

### **3 EDUCAÇÃO CIENTÍFICA NO BRASIL – UM PERFIL DO JOVEM BRASILEIRO**

Ouvir e discutir o que as referências e lideranças educacionais brasileiras orientam e sugerem sobre o ensino de ciências deve ser tarefa constante também do pesquisador em educação científica para que desenvolva conhecimento em prol de um ensino contextualizado, democrático e significativo para nossos alunos. No entanto, esse processo tornar-se-á mais produtivo e democrático se os estudantes também forem ouvidos sobre o que pensam da ciência e suas aulas sobre ela. Conhecer os perfis, preferências, preocupações e hábitos em relação à ciência, pode ajudar a tornar o ensino mais próximo e envolvente para os alunos, na medida em que for proposto atendendo às suas variadas demandas e particularidades. Qual o nível de motivação dos alunos brasileiros para o aprendizado das ciências? Existem assuntos potencialmente mais motivadores do que outros baseados nas suas preferências? Como essas preferências variam de região para região? Existem alguma unanimidade? Existem temas que, para eles, já não despertam tanta atenção? Essas são algumas das muitas perguntas cujas respostas podem ser significativamente úteis em um trabalho como esse. Dessa forma, a fim de termos uma noção e referência sobre como andam alguns aspectos da educação científica escolar brasileira, consultaremos dois trabalhos, ambos realizados em escala nacional, cujas intenções foram conhecer o perfil dos estudantes e jovens brasileiros perante o conhecimento científico.

#### **3.1 Os interesses e opiniões dos estudantes brasileiros do ensino médio perante a ciência**

O trabalho intitulado “As opiniões, interesses e atitudes dos jovens brasileiros frente

às ciências: uma avaliação em âmbito nacional” (GOUW, 2013) buscou conhecer quantitativamente o perfil dos estudantes brasileiros perante ao conhecimento científico e tecnológico mediante a implementação de um questionário chamado The Relavance of Science Education (ROSE), o qual já é aplicado internacionalmente.

Esse questionário já havia sido aplicado uma vez, em 2007, por Tolentino-Neto (2008), porém, em uma escala menor, sendo o trabalho de Gouw (2013) o primeiro em escala nacional. Além do estudo quantitativo, que já disponibilizaria uma grande quantidade de dados sobre relacionamento dos estudantes brasileiros com a ciência, também é proposta uma discussão sobre como a interpretação desses dados pode ajudar a propor medidas para o ensino de ciências nas escolas. Segundo a autora desse estudo, um grave problema encontrado, não só no contexto nacional, mas também mundial, e que chama atenção da comunidade acadêmica, de professores e governos, é que pesquisas e relatórios realizados com vasta amostragem de dados têm mostrado que “os jovens não têm interesse pela ciência escolar tampouco pela carreira científica” (GOUW, 2013, p.27). Diante disso, ela ressalta a importância do desafio da educação científica em se modernizar para que alcance mais os alunos, sejam os que têm maior afinidade com ela ou não. Para que se modernize, ela defende que os alunos devem ser ouvidos sobre o que pensam sobre as ciências não só no âmbito escolar, mas também em suas vidas.

Os principais resultados encontrados foram que a maioria dos estudantes brasileiros têm uma atitude positiva em relação à ciência e às suas aulas, mas, em contrapartida, têm baixo interesse pela carreira científica. Os assuntos científicos que mais atraem são os relacionados ao corpo humano, com destaque para temas envolvendo a sexualidade e reprodução. Trazendo para o contexto do nosso trabalho, é importante ressaltar que não existe referência direta ao termo “cosmologia” em toda essa pesquisa, porém, existem perguntas que se referem ao conhecimento sobre o “Universo” (ver página 229). Interpretamos, também, que os temas de cosmologia estão atrelados às referências aos termos “astronomia” e “astrofísica” de que a pesquisa faz uso. Temas “como caminhar orientado para as estrelas”, “como meteoritos, cometas e asteroides podem causar catástrofes na Terra?”, “a possibilidade de existir vida fora da Terra”, “qual a sensação de viver sem peso no espaço?”, “estrelas, planetas e o Universo” e “Buracos negros, supernovas e outros objetos do espaço” são os que aparecem e podem ser relacionados, no geral, às ciências astronômicas e espaciais, e revelaram ser de interesse significativo por parte dos alunos, com uma leve preferência maior entre os meninos do que entre as meninas. O trabalho de Fróes (2014) analisa esses resultados e mostra que o interesse dos alunos brasileiros no último

tópico citado (buracos negros, supernovas e outros objetos do espaço) demonstrou ser significativamente inferior se comparado ao interesse de alunos de outros países onde o ROSE foi aplicado. O autor levanta então a hipótese se isso é realmente uma amostra de desinteresse para o assunto em comparação com outras localidades ou “se há indícios de algo mais grave: a completa desinformação dos estudantes sobre o tema, de maneira que eles nem tenham elementos para compreender a pergunta” (FRÓES, 2014). Outro resultado que podemos citar, revelado pela aplicação do ROSE, ligado indiretamente ao ensino de cosmologia, foi que a disciplina tida como a mais interessante pelos alunos, igualmente entre meninas e meninos, dentre todas relacionadas ao ensino de ciências (Biologia, Física, Química e Geociências) foi a Física, englobando os assuntos astronomia, óptica, eletricidade e acústica. Dessa forma, podemos ver que os dados da pesquisa apontam para que os estudantes brasileiros têm um grande interesse relacionado ao aprendizado de ciências, principalmente a Física e vários assuntos relacionados a ela, dentre eles, a Astronomia. Assuntos diretamente associados à cosmologia, como dito, não foram especificados na pesquisa, mas, assumimos estarem inclusos quando se referem à “Astronomia” no trabalho. Um trecho final da pesquisa pode ser utilizado para sintetizar as principais conclusões:

Assim, a pesquisa aqui apresentada verificou que o jovem brasileiro, de modo geral, tem interesse global pelos temas científicos abordados na escola, considera a ciência escolar interessante e possui uma visão otimista do papel da ciência e da tecnologia na sociedade. Além disso, demonstram ter atitudes positivas em relação ao meio ambiente. Diante desse quadro com tantos aspectos positivos, causa estranhamento verificar que o brasileiro não tem interesse pela carreira científica. (GOUW, 2013, p.199)

### **3.2 Um perfil mais abrangente - o jovem brasileiro perante a ciência**

Outra pesquisa atual que visou traçar o perfil do jovem brasileiro perante a ciência e tecnologia (C&T) foi publicada em 2019 e contou com a participação de pesquisadores da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) (MASSARANI *et al.*, 2019). Embora trate de C&T de uma maneira mais generalizada, sem descrever muitos temas e assuntos específicos desse campo, e, também, envolver um público em uma faixa etária mais abrangente, jovens entre 15 e 24 anos, Gouw (2013) avaliou apenas jovens matriculados no primeiro ano do ensino médio com faixa etária de 15 anos, essa pesquisa encontrou resultados que corroboram a maioria dos encontrados pela anterior. Dentre várias características, concluíram que o jovem

brasileiro tem muito interesse pela ciência, uma atitude positiva em relação a ela, afirmando que deve ser desenvolvida, receber mais investimentos e que é necessário agir em prol do meio ambiente. No entanto, também revelou dados considerados como preocupantes ligados à questão da desinformação e acesso ao conhecimento científico. Mais da metade dos entrevistados erra perguntas básicas sobre o conhecimento científico e considera que os “cientistas possam estar exagerando sobre os efeitos das mudanças climáticas” (MASSARANI *et al.*, 2019, p.3). A parcela de 40% dos jovens nega que o ser humano é produto da evolução de outras espécies. Aproximadamente 60% não sabe definir para que serve um antibiótico. Alguns dados chegam a ser mais do que simplesmente preocupantes, indo para o status de perigo eminente à saúde pública – 26% dos jovens brasileiros considera que vacinar crianças pode ser perigoso e outros 21% possuem alguma ressalva contra a vacinação infantil. Esse dado aliado ao fato de que o movimento antivacina tem crescido significativamente nos últimos 5 anos e várias doenças, já antes controladas, estão surgindo novamente (BEÇATRÃO *et al.*, 2020; NASSARALA *et al.*, 2019) é um sinal de alerta importante que nos mostra como a desinformação científica pode vir a ser ainda mais danosa para nossa sociedade.

Outro agravante evidenciado pela pesquisa é o decrescente acesso dos jovens aos espaços científicos, como museus e centros difusores de atividades científicas e culturais. Os autores alertam que esse resultado não está ligado à falta de interesse dos jovens, mas, principalmente, com a inexistência e/ou pouca acessibilidade a esses locais em nosso país, o que nos mostra ser um ponto profundamente negligenciado pelas políticas públicas relacionadas ao desenvolvimento do acesso democrático aos centros difusores de ciência e cultura. A pesquisa anterior também já havia constatado o baixo acesso dos estudantes a ambientes científicos (GOUW, 2013, p.234). Igualmente em baixa está o acesso à C&T através de livros, sendo WhatsApp e Facebook alguns dos principais meios de consulta. Eles foram considerados pela maioria dos entrevistados como os maiores difusores de notícias falsas. É importante notar que, além deste fato, a maioria declarou ter dificuldade em avaliar se uma notícia sobre C&T é falsa, gerando um cenário no qual a possível combinação entre os dois dados se torna ainda mais preocupante. De uma maneira resumida, os autores concluem:

Temos, diante de nós, um cenário de desafios importantes para os educadores, para a imprensa e os profissionais da comunicação, para os políticos e para os próprios cientistas. É urgente responder a esta demanda clara dos jovens, por informação melhor e mais confiável sobre C&T. É urgente, também, responder à demanda por maior participação social e maior

engajamento da população em temas de C&T. O claro interesse e a clara percepção de relevância social por parte dos jovens podem ser usados para articular mecanismos mais fortes e capazes de alcançar todos os grupos sociais, combatendo a desinformação e facilitando processos não só de aprendizado e apropriação do conhecimento, mas, também, de debate, discussão e de fortalecimento de uma cidadania científica. (MASSARANI *et al.*, 2019, p 21)

Portanto, para o contexto desse trabalho, e de uma forma geral, podemos considerar que o estudante brasileiro possui um grande interesse em aprender ciências, sendo a Física uma das disciplinas que mais despertam a sua curiosidade. Os interesses analisados de uma forma separada à disciplina que mais se relacionam revelam que a maior preferência é pelos assuntos ligados ao corpo humano e saúde, sendo sexualidade e doenças os mais mencionados. Porém, o interesse nas questões do Universo, Astronomia e Ciências Espaciais, em geral, também é significativo e, como propõe uma das autoras de um dos trabalhos, em relação a todas as opiniões e preferências coletadas:

Nossos jovens foram ouvidos, agora é necessário que suas falas alcancem os professores, gestores, acadêmicos da área de ensino de ciências, elaboradores de materiais didáticos, e os elaboradores de políticas públicas da área de educação. (GOUW, 2013, p.200)

Ficar também atento aos sinais de alerta, os quais apontam para um perfil de jovem afastado do conhecimento científico quando fora do ambiente escolar, confuso ao expressar e praticar a maioria dos conhecimentos científicos básicos em sociedade e situações do seu cotidiano e exposto a canais nos quais se acredita que grandes conteúdos de mensagens falsas circulam, ao mesmo tempo que declara achar muito difícil analisar e interpretar se essas mensagens são falsas, se torna mais um fator a ser incluso no ensino de quaisquer das ciências, entre elas, a cosmologia.

#### **4 A COSMOLOGIA NO ENSINO BRASILEIRO**

Nesse capítulo, decidimos por apresentar a descrição e refletir sobre algumas abordagens de outros pesquisadores sobre a inserção de Cosmologia no Ensino Médio. Trata-se de trabalhos e propostas desenvolvidos em escolas de diferentes localidades e contextos do país. Não existem trabalhos que tenham abordado o ensino de Cosmologia em escala nacional, de forma a construir um perfil generalizado. Dessa forma, estaremos buscando aqui relatos de experiências isoladas. Na análise, procuramos destacar os diferenciais de cada uma, suas metodologias, a criatividade dos autores, mostrando também dificuldades e

obstáculos enfrentados pelos mesmos, de forma a possuímos um certo perfil de como esses estudos têm se desenvolvido no contexto brasileiro e enriquecer nossa abordagem. Enquanto alguns autores realizaram pesquisas chegando até a sua implementação em sala de aula com os alunos, outros participaram apenas da formação de professores e outros se mantiveram desenvolvendo material teórico sobre os assuntos. Em relação à variedade de temas, também temos trabalhos que abordaram uma quantidade maior e outros que mostraram a possibilidade de inserir temas mais reduzidos e específicos e, ainda assim, obter bons resultados.

#### **4.1 Cosmologia para professores – uma tentativa de compartilhar conhecimento**

O artigo “Astronomia, astrofísica e cosmologia para o ensino médio” (FRÓES, 2014) é uma das tentativas de se elaborar material para ser trabalhado pelos professores em sala de aula com os estudantes. Não é um texto exclusivo sobre cosmologia, mas também trata dela, especificamente, a partir da última seção, no tópico “Cosmologia Observacional”. No entanto, como o próprio autor declara, “não se trata de um material pedagógico uma vez que é intencionalmente conciso, embora ele possa ser reconstruído com tal intenção, mas um texto que orientará o professor no desenvolvimento de sua aula” (FRÓES, 2014, p.2). Como motivação ao seu artigo, Fróes começa fazendo referência às mais variadas investigações do Universo, iniciando com Giordano Bruno e os possíveis outros mundos além da Terra, até os últimos avanços científicos em astrofísica e cosmologia envolvendo os recentes estudos sobre a expansão do Universo e matéria escura. Ele então parte para a reflexão sobre o quão fascinante e motivador são esses temas e, mesmo assim, não estão presentes no que é ensinado na escola. Exemplifica sobre a inclusão exclusiva de matérias ligadas aos “problemas do dia-a-dia”, envolvendo a “decoreba” e aplicação de fórmulas como, por exemplo, os velhos problemas de física sobre deslocamentos de corpos de um ponto a outro, com determinadas velocidade e aceleração. Deixa a pergunta “Afim, por quanto tempo um carro movendo-se de A até B com uma dada velocidade inicial e aceleração constante conseguiria capturar a atenção de um jovem de 15 anos?” (FRÓES, 2014, p.1). Essa reflexão feita sobre o ato de se ensinar somente através de exemplos práticos do dia-a-dia do estudante, com a mera aplicação de fórmulas para resolução de problemas, conversa diretamente com a crítica ao ensino utilitarista. Nesse tipo de “ensino”, “a concepção utilitária concebe o conhecimento como meio para um fim” (GIULE, 2008, p.631). Ramos e Heisfeld (2017) exemplificam:

A concepção utilitarista, por sua vez, diz respeito ao conhecimento como apenas um meio para outro fim, externo ao processo educacional. Pode-se citar, por exemplo, a ideia de progresso via industrialização, para a qual o conhecimento específico seria uma ferramenta através da qual contribuir-se-ia para uma formação social particularmente desejada.

Christian Laval é um dos autores do nosso tempo que estuda também a questão do ensino utilitarista. Em “A escola não é uma empresa – O neoliberalismo em ataque ao ensino público” (LAVAL, 2019), se tem uma crítica a este fenômeno que tem dominado os modelos educacionais:

O novo modelo escolar e educacional que tende a se impor se baseia, em primeiro lugar, em uma sujeição mais direta da escola à razão econômica. Está ligado a um economicismo aparentemente simplista, cujo principal axioma é que as instituições em geral e a escola em particular só têm sentido com base nos serviços que podem prestar às empresas e à economia. O “homem flexível” e o “trabalhador autônomo” são as referências do novo ideal pedagógico. (LAVAL, 2019, p.29)

Assim, interpretamos que a fala inicial e as constatações de Fróes (2014) apontam para uma crítica do ensino atual de Física, que tem seguido as concepções utilitaristas ao se limitar a apenas abordagens do conhecimento aplicado aos problemas do dia a dia. Quando o autor critica a “decoreba” e o ensino feito visando somente a aplicação de fórmula matemáticas, podemos fazer uma relação entre essa parte do discurso em relação ao conceito da “educação bancária” de Paulo Freire (1987):

Em lugar de comunicar-se o educador faz “comunicados” e depósitos que os educandos, meras incidências, recebem pacientemente, memorizam e repetem. Eis aí a concepção bancária da educação, em que a única margem de ação que se oferece aos educandos é a de receberem depósitos guardá-los e arquivá-los. (FREIRE, 1987, p.80)

Dessa forma, no contexto do trabalho de Fróes, ensinar astronomia, astrofísica e cosmologia nas aulas de Física estimularia a criatividade, o aprendizado contextualizado e sem “decurebas”, de uma maneira diversificada e interessante para os alunos. Finalizando sua reflexão sobre a inserção desses temas, ele questiona:

Não seria a hora de cogitar uma reestruturação semelhante em nosso currículo, permitindo fugir um pouco mais do absolutamente concreto e do dia a dia, estimulando nos jovens a criatividade e o interesse pela ciência e pela área de exatas como um todo? (FRÓES, p.2, 2014)

Como dito no início, seu trabalho não é um material pedagógico, mas constitui um texto rico de informações, escrito de maneira clara, cobrindo as teorias, descobertas, suas histórias e os principais conceitos. É um texto acessível para os professores de Física que,

eventualmente, estejam em um primeiro contato com os temas. A parte de cosmologia é discutida a partir do tópico “Cosmologia Observacional” (IBIDEM, p.6). Os assuntos trabalhados são, principalmente, a teoria do Big Bang, Teoria Geral da Relatividade, expansão do Universo, radiação cósmica de fundo, matéria escura e modelo Cosmológico Padrão. Em todos, além dos conceitos físicos e matemáticos bem descritos com o uso das principais equações, a parte histórica do desenvolvimento das teorias e observações também é detalhada. É um material adequado para consulta e aprendizagem, de forma que, os professores possam desenvolver suas aulas de cosmologia com profundidade. Não existem sugestões de exercícios ou quaisquer outros tipos de atividades para serem desenvolvidas dentro da sala de aula, ficando a cargo do professor essa tarefa.

#### **4.2 Inclusão de Astrofísica e Cosmologia no ensino médio**

O trabalho “Inclusão de Astrofísica e Cosmologia no Ensino Médio: uma motivação ao estudo de ciências” (FERREIRA, 2011) visou inserir temas de astrofísica e cosmologia para alunos de ensino médio. Ele foi desenvolvido sob forma de quatro aulas, ministradas a alunos do terceiro ano de uma escola em Presidente Prudente no estado de São Paulo (SP), divididas em temas básicos como movimentos e formato do planeta Terra, leis de Kepler, Sol, estrelas e sua evolução, buracos negros e galáxias. Em cosmologia, os assuntos foram Big Bang, matéria escura, princípio cosmológico e possíveis destinos do Universo. Antes de iniciar as aulas, foi aplicado um questionário inicial com perguntas que visavam conhecer o nível conceitual dos alunos nos assuntos, por exemplo, sobre ano-luz e características do Sol. Para análise desses dados primários, ele utilizou a ferramenta de análise de conteúdo tal como descrita por Tozoni – Reis (2007), decompondo o texto em partes para a análise. O autor criou 3 classificações de respostas para auxiliar na sua análise. A primeira foi “Ideia de conceito”, na qual foram agrupadas perguntas que visavam avaliar os conceitos dos alunos acerca de determinado assunto, por exemplo, “você sabe o que é um ano-luz?”. Dentro dessa classificação, o autor utilizou 5 categorias para classificar as respostas:

- Correta e consistente – relacionada às respostas que foram respondidas corretamente e bem argumentadas.
- Correta, porém inconsistente – respondida com grande aproximação do conceito ideal, porém com uma argumentação confusa, rasa e/ou decorada.
- Incorreta, mas consistente – respostas com bons argumentos, mas fundamentadas em

conceitos errados.

- Incorreta e inconsistente – argumentação e conceituação errados.
- Não sabe – quando aluno não respondeu ou escreveu “não sei”.

Os resultados gerais dessa primeira análise mostraram que os alunos tiveram o melhor desempenho ao responderem as questões envolvendo conceitos básicos como galáxias, velocidade da luz e Big Bang. Porém, na análise individual das questões, os percentuais correspondentes ao número de acertos em relação a toda a turma foram baixos. O restante das perguntas obteve níveis altos de respostas incorretas, com destaque para a questão envolvendo unidades astronômicas com o maior número de respostas do tipo “Não sei”. Outra classificação utilizada foi “Capacidade Explicativa”. Esta classificação engloba as perguntas que exigiam uma elaboração por parte do aluno de uma explicação para um determinado fenômeno. Apenas duas questões entraram nessa classificação. As respostas para estas questões foram agrupadas em duas categorias: “Boa ou razoável” e “Insatisfatórias”. Em todas as questões, as respostas classificadas como “Insatisfatórias” foram em maior quantidade e, mesmo nas respostas consideradas na classificação “Boa ou razoável”, as explicações não foram significativamente bem construídas e elaboradas. A última classificação utilizada na análise dos dados primários foi “Formato da Terra”, sendo que os alunos responderam à questão “Você acha que a Terra é redonda? Por quê?”. Nessa classificação foram utilizadas 3 categorias: “Afirmativa e consistente”, “Afirmativa, mas inconsistente” e “Negativa”. Quarenta e cinco por cento dos alunos responderam que a Terra não é redonda, mas sim oval, elíptica e/ou achatada nos polos, mostrando uma confusão entre os conceitos de redondo e esférico. Dessa forma o autor pôde constatar os principais problemas conceituais e argumentativos desse contexto e preparar as suas aulas para que depois repetisse a sua avaliação. Foram três aulas de conteúdo e a última aula foi destinada a uma revisão de conceitos e realização de exercícios, sendo eles no formato de uma prova de oito questões similares as do questionário inicial. Para a avaliação desses dados, uma nova classificação foi feita substituindo a “Capacidade Explicativa” por “Questões objetivas” e mantendo as outras duas classificações. Dessa vez os resultados foram todos considerados satisfatórios, com a maioria dos alunos respondendo às perguntas de maneira correta e bem argumentada. A maioria dos alunos também relatou que acharam os temas motivadores, interessantes e aumentaram seu conhecimento sobre o Universo. Por fim, o autor concluiu que foi possível a inserção de temas relacionados à Astronomia e Cosmologia para essa turma do ensino médio com resultados notórios.

Faremos aqui uma reflexão sobre esse trabalho: será a utilização de provas algo indicado para as atividades que se propõem inserir temas como Astronomia e Cosmologia no ensino de Física? Voltando à crítica de Fróes (2014) e na discussão que fizemos no último parágrafo sobre ensinar esses temas como forma de aumentar o interesse dos estudantes pelas ciências, contextualizando e diversificando o conhecimento, fugindo de “decorebas” e práticas de ensino utilitaristas e “bancárias”, não seria contraditório adotar as ferramentas de “prova” e “avaliações”? O autor deixa claro que “o questionário final teve formato de Prova (pois a professora da turma requisitou uma nota que avaliasse o desempenho individual dos alunos) [...]” (FERREIRA, 2011, p.20), de forma que tudo indica não ser a forma original pretendida por ele. A última aula dada constituiu de uma revisão sobre os principais conceitos e esclarecimento de dúvidas para a avaliação o que, na nossa interpretação, reforça ainda mais o caráter de “prova” e aprendizado somente para “conseguir nota”. No apêndice (FERREIRA, 2011, p.54) é possível ver o documento da prova, incluindo os pesos de notas atribuídos a cada questão. Este trabalho nos dá a oportunidade de pensar sobre o quanto a forma de ensinar temas novos também tem que ser bem avaliada, pois entendemos que apenas o ato de inserir esses temas no ensino de uma disciplina não garante que estamos de fato mudando a abordagem e trazendo uma nova ferramenta motivadora com possibilidades diferentes. É preciso saber também a forma como isso será feito, se realmente estamos abandonando certos “hábitos” que podem comprometer a prática pedagógica.

O artigo de Aguiar e Hosume (2018) é outro trabalho sobre a inserção de astronomia, astrofísica e cosmologia para o Ensino Médio, nesse caso, em uma turma de 1º ano. Eles tentaram avaliar as influências de uma sequência pedagógica, baseada em vários assuntos incluindo *Big Bang*, expansão do Universo e Relatividade Geral, teve sobre a visão de mundo e Universo dos alunos. Utilizando a análise de categoria, elencaram duas categorias principais sendo “Mudança na visão de mundo” e “Nova visão cosmológica” para as respostas dos alunos perante os questionários aplicados. Eles puderam verificar que 97% (amostra de 78 pessoas) dos estudantes participantes das atividades responderam que a sua visão de mundo e do Universo mudou significativamente depois de terem participado das aulas. Nessa prática, pode-se evidenciar o caráter formativo da cosmologia contribuindo para a expansão da visão dos estudantes sobre a sua própria realidade.

### **4.3 Cosmologia e história em quadrinhos**

O trabalho de Araújo *et al.* (2018) é um exemplo de abordagem criativa para a

inserção de cosmologia no ensino de Física. Tendo como motivação criar alternativas que substituíssem o ensino tradicional de Física “que por muitas vezes distância o conteúdo abordado da realidade dos discentes” (ARAÚJO *et al.*, 2018, p.1) os autores escolheram a abordagem das histórias em quadrinhos para trabalharem com os alunos. Dois encontros foram realizados, sendo que no primeiro os alunos foram apresentados a temas como Big Bang, buracos negros, matéria escura, modelos do Universo, geocentrismo e heliocentrismo, assim como, uma pequena história da Física. Ao final, aprenderam as instruções básicas para o desenvolvimento de histórias em quadrinhos e foram instigados a se dividirem em grupos e produzirem suas próprias histórias sobre os temas estudados. O segundo encontro foi destinado à confecção das histórias e apresentação. Os autores destacam o conteúdo rico e criativo das histórias em quadrinhos apresentadas como viagens no tempo, acelerador de partículas e discussões sobre o formato da Terra. Eles puderam observar que os estudantes se envolveram em suas histórias, criando narrativas e discussões a cerca dos assuntos estudados antes e, também, pesquisados por eles de forma independente, o que revelou o caráter motivador à pesquisa e investigação nessa prática. Como conclusão, eles puderam notar a motivação e entusiasmo dos alunos na confecção das histórias, na interação entre eles e como ficaram à vontade ao expressarem o conhecimento, o qual “não se sentiriam motivados a apresentarem durante aulas com práticas tradicionais” (ARAÚJO *et al.*, 2018, p.5).

#### **4.4 Aprendizagem significativa e material pedagógico sobre cosmologia**

Em Mendonça (2018) temos uma proposta de cosmologia para o ensino médio utilizando a teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel e também no modelo de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas de Moreira (2015). O “conhecimento hierarquizado” é um conceito encontrado em Ausubel e utilizado pelo autor, o qual entende a aprendizagem como sendo sustentada por conhecimentos prévios dos indivíduos, surgindo a importância de organização dos conhecimentos em etapas e a importância do professor como mediador desse processo:

Ausubel propõe a construção da aprendizagem ancorada em conhecimentos prévios do sujeito e que o material e a forma de se introduzir a nova informação sejam potencialmente significativos, ou seja, que integrem o que o aluno já sabe e que sejam utilizados de uma forma planejada e organizada. Esse material deve se conectar a algum conceito já adquirido pelo aluno, que seja significativo para ele e pode ser utilizado assim para a introdução de novos conceitos. (MENDONÇA, 2018, p.21)

Dessa forma, o autor defende que a aprendizagem realmente significativa para o

indivíduo não acontecerá se for feita através da introdução de novos conceitos aleatórios e desconectados dos conhecimentos prévios (subsunçores). Ele utiliza então a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira (2015), a qual faz uso dos conceitos de Ausubel e propõe que a aprendizagem crítica deve seguir no caminho onde o aluno adquire conhecimento e cultura e se mantém crítico a eles, não sendo subjugado. Exemplifica:

Moreira propõe a aprendizagem subversiva tendo a aprendizagem significativa crítica como o caminho para que o aluno seja mais ativo no processo de ensino e aprendizagem e seja capaz de fazer parte de sua cultura sem ser subjugado por ela. Nessa perspectiva, o aluno é capaz de lidar com a tecnologia, sem ser um tecnófilo, estar mergulhado na informação e continuar sendo crítico a ela. (MENDONÇA, 2018, p.26)

As principais estratégias seguidas para a Aprendizagem Significativa Crítica nesse trabalho foram: dar o enfoque à capacidade de perguntar dos alunos ao invés de fornecer as respostas prontas, tornando-os ativos no seu processo de aprendizagem; expandir o material de consulta além do livro-texto base, fazendo usos também de artigos, filmes e revistas entre outros, de modo a promover uma interpretação crítica da informação; utilizar mais recursos além do quadro negro, como vídeos, jogos, entre outras formas de interatividade; abordar a participação dos alunos como perceptores diversos da informação e não como receptores passivos uniformes, cada aluno tem a sua percepção distinta do conhecimento que chega até ele, não existindo uma única forma de interpretá-lo; abordar o ato de errar como uma possibilidade de aprendizado e reflexão por parte do aluno, sendo o professor aquele o que guia nesse processo; utilizar o Princípio da desaprendisagem, onde deve-se ficar atento ao fato de que, algumas vezes, os conhecimentos prévios podem atrapalhar o aprendizado de novos, o autor cita que, por exemplo, ao aprender Mecânica Quântica, se o aluno ficar muito preso aos seus conhecimentos prévios de Mecânica Clássica, será mais difícil assimilar os novos; abordar o conhecimento como algo em construção, em que as verdades absolutas não existem, sendo um processo contínuo de questionamento e investigação. Por fim, outro conceito utilizado pelo autor desse trabalho são as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), também propostas por Moreira (2011). Elas se constituem de meios auxiliares ao aprofundamento do conhecimento dos estudantes sobre determinado tema escolhido. Sua finalidade é favorecer um aprendizado significativo e mais aprofundado do que somente a transmissão superficial do conhecimento, chamada no trabalho de “aprendizado mecânico”, de forma que os alunos realmente conheçam o assunto que estão estudando. A implementação de UEPS’s deve ser feita de maneira organizada e articulada, não sendo fragmentas de conhecimento aleatórios. Como UEPS’s, o autor dá os exemplos de

“filmes, vídeos, livros, textos, artigos, simuladores, dentre outros recursos, de forma planejada e que sejam potencialmente significativos para a proposta desejada” (MENDONÇA, 2018, p. 31). Baseado nesses princípios, o autor desenvolveu material pedagógico em forma de um livro contendo assuntos de Cosmologia e o apresentou a alunos do terceiro ano, visando entender como seria a sua recepção. Seus resultados mostraram que, para esse público do ensino médio, a proposta foi bem aceita e os alunos acharam o livro adequado aos seus estudos.

#### **4.5 A discussão sobre as controvérsias histórico-filosóficas da Cosmologia como oportunidade de ensino**

No artigo “A origem do universo como tema para discutir a Natureza da Ciência no Ensino Médio” (GUTTMANN; BRAGA, 2015) os autores procuraram utilizar um tema da cosmologia, o início do Universo, para estimular as discussões histórico-filosóficas dentro da disciplina de Física, a fim de proporcionar uma visão mais complexa da Ciência e da maneira como ela é construída. Utilizaram então de duas teorias opostas sobre o surgimento do Universo, a do Big Bang e do Universo Eterno, e trabalharam com elas em uma turma do segundo ano do Ensino Médio. Como o enfoque não foi aprofundar cada teoria, mas sim trazer para a discussão as principais diferenças e controvérsias existentes entre elas, o trabalho foi desenvolvido junto aos alunos debatendo sobre os principais conceitos de cada teoria, os motivos e evidências que levam mais à aceitação do Big Bang e como na ciência o conhecimento é fruto, muitas vezes, da confrontação de teorias. Após esse debate, os alunos foram submetidos a um questionário sobre perguntas diversas que incentivaram o questionamento sobre a natureza do conhecimento científico e a importância de uma visão crítica sobre ele. Os resultados apontados pelos autores foram tão positivos no que tange ao desenvolvimento de uma visão reflexiva sobre a Ciência por parte dos estudantes que duas alunas até escreveram um artigo para o jornal da escola:

Elas descreveram que o trabalho havia provocado nelas uma mudança muito grande na forma como enxergavam o mundo e a ciência. Além disso, avisaram que na edição seguinte do jornal já haveria um segundo texto, também baseado nas reflexões que o trabalho provocara nelas. (GUTTMANN; BRAGA, 2015, p.457)

As alunas relataram que nunca haviam pensado não só na ciência dessa forma, mas em muitas questões sobre a infinitude e finitude do Universo, o que as levou a realizarem pesquisas na biblioteca e em outros meios. Outros “alunos que tradicionalmente não se interessavam pela disciplina se mostraram participativos e engajados em responder o

questionário” (GUTTMANN; BRAGA, 2015, p.458). Podemos interpretar que o trabalho mostra o quão importante é a inserção da cosmologia para alunos nessa faixa etária. Como foram realizadas de uma maneira crítica e reflexiva, as discussões sobre as teorias do Big Bang e do Universo Eterno provocaram a curiosidade de alunos não só para a cosmologia, mas para a Ciência a partir do ponto de vista crítico, os inspirando a escreverem artigos para o jornal da escola e frequentarem mais a biblioteca à procura de conhecimento. Como uma das conclusões sobre a importância da discussão histórico-filosófica, nesse caso da cosmologia os autores relatam:

A forma como a ciência é construída deve ser discutida em sala para quebrar, principalmente a visão de uma construção linear por acúmulo de conhecimentos, onde só exista um único paradigma vigente e que seja totalmente descontextualizada em relação à sociedade. Nessa concepção, a utilização de discussões em torno de Natureza da Ciência se mostra uma importante forma para tornar a visão do aluno mais adequada à realidade da construção da Ciência. (GUTTMANN; BRAGA, 2015, p.458)

Dessa forma, o ensino de cosmologia no trabalho trouxe à discussão não só as informações técnicas dos assuntos, mas a maneira como se chegaram a essas conclusões, propiciando uma visão crítica do conhecimento científico e despertando o interesse pela sua busca. Sobre essa visão crítica do conhecimento científico e a importância de uma discussão profunda e realista sobre os “bastidores” que permeiam os seus desenvolvimentos, o cientista e divulgador científico Carl Sagan também refletiu:

Se comunicarmos apenas as descobertas e os produtos da ciência - por mais úteis e inspiradores que possam ser - sem ensinar o seu método crítico, como o cidadão poderá distinguir a ciência da pseudociência? As duas são então apresentadas como afirmativas sem fundamentos [...] É um desafio supremo para o divulgador da ciência deixar bem clara a história real e tortuosa das grandes descobertas, bem como os equívocos e, por vezes, a recusa obstinada de seus profissionais a tomar outro caminho. Muitos textos escolares, talvez a maioria dos livros didáticos científicos, são levianos nesse ponto. É muitíssimo mais fácil apresentar de modo atraente a sabedoria destilada durante séculos de interrogação paciente e coletiva da Natureza do que detalhar o confuso mecanismo da destilação. O método da ciência, por mais enfadonho e ranzinza que pareça, é muito mais importante do que as descobertas dela. (SAGAN, 1996, p.40)

Estendendo os conceitos de “divulgador da ciência” para os professores e educadores em geral e “cidadão” para os estudantes, consideramos a sua reflexão como válida também no nosso contexto de ensino de cosmologia. Se nos limitarmos à apenas apresentar as descobertas, sem analisar o percurso percorrido para que se chegasse até elas, qual é então a diferença de fazer qualquer outra alegação que não tem fundamento nenhum? Sagan se refere

às “pseudociências” como fraudes que tentam fazer uso de um discurso e atitude aparentemente científicos para conferir um tom de verdade e credibilidade às suas atividades quando, na verdade, não passam de enganações. Como mostrado no capítulo anterior “Educação Científica e Cosmologia no atual cenário brasileiro” em que os jovens, além de se sentirem expostos a canais por onde circulam muitas notícias que se dizem científicas quando, na verdade, são falsas, também sentem dificuldade para verificar o conteúdo das mesmas. O modelo de prática de ensino de cosmologia de Guttmann e Braga (2015), que incentiva uma visão crítica da ciência, estimulando a investigação e entendimento mais amplo de como ela é feita, pode ser interpretado também como uma abordagem que contribui para a redução desses problemas encontrados no cenário da educação científica brasileira de jovens.

#### **4.6 Mais controvérsias e a elaboração de um jogo didático**

Um trabalho que também se utiliza do ensino crítico de cosmologia a partir de acontecimentos conflitantes na história dessa ciência é a tese “Controvérsias envolvendo a Natureza da Ciência em sequências didáticas sobre Cosmologia” (BAGDONAS, 2015). O autor desenvolveu um trabalho em que o ensino de cosmologia também é utilizado como oportunidade para abordar a Ciência a partir de um ponto de vista crítico, dando atenção para as controvérsias e antagonismos existentes durante os processos de construção de teorias e conhecimentos. Um dos seus objetivos é “evidenciar o valor das controvérsias na educação” (IBIDEM, p.5), utilizando a história da cosmologia do século XX como contexto. Ele também procurou investigar quais as vantagens educacionais traz o debate sobre as possíveis influências sociais, políticas e econômicas na ciência, através de um jogo criado por ele sobre a história da cosmologia moderna entre os anos de 1914 e 1939, período de grande desenvolvimento, enfatizando os debates de teorias sobre o universo estático/dinâmico e a sua possível expansão através de modelos teóricos e observações. Sua proposta pode se inserir também na crítica ao ensino de Física baseado em princípios utilitaristas e a falta de assuntos sobre cosmologia nessa disciplina, apresentando a sua inserção como oportunidade de estímulo ao interesse pela ciência e uma ferramenta educacional motivadora:

O ensino de cosmologia não pode ser justificado com argumentos utilitaristas, como a utilização prática no dia-a-dia, ou como forma de preparar o indivíduo para o mercado de trabalho. No entanto, a cosmologia é um tema que pode ser fascinante partindo da inserção de discussões a respeito das relações entre as ciências e visões de mundo na educação. Por

mais que a Cosmologia seja uma das ciências com mais espaço na divulgação científica, por atrair muito a atenção dos não cientistas, ela está muito pouco presente na atenção básica, assim como na formação de professores. (BAGDONAS, 2015, p.15)

O jogo didático “Cosmic”, criado nesse trabalho e aplicado em uma turma de ensino médio de uma escola paulistana, surge como uma alternativa visando o ensino de maneira mais estimulante, abrindo espaço para as reflexões sobre as controvérsias do mundo científico, permitindo aos alunos maior interesse e oportunidade de se aprofundar no assunto, evitando somente leituras e interpretações de textos. Também é colocado como incentivo ao trabalho em grupo e desenvolvimento das habilidades coletivas, as quais interpretamos serem quesitos muito importantes no desenvolvimento de qualquer prática pedagógica. Os grupos de alunos no jogo funcionaram como “grupos de pesquisa” sobre a história da cosmologia, seus desdobramentos socioculturais e elementos conceituais (sem aprofundar em equações). Através da leitura de cartões contendo esses aspectos, eles responderam as questões envolvendo os acontecimentos da história da cosmologia em diferentes países durante os anos de 1914 a 1939, envolvendo cientistas como Albert Einstein, Edwin Hubble, Georges Lemaître, Aleksander Friedmann entre outros. O autor encontrou resultados positivos pois, apesar de ter trabalhado as controvérsias da história da cosmologia, foram poucos os alunos que apresentaram uma visão “relativista ingênua” da Ciência, ou seja, apesar de estarem em contato com as reviravoltas e embates relacionados às descobertas científicas, eles desenvolveram uma visão crítica valorizando e reconhecendo a importância do conhecimento científico e suas renovações e não o tratando como algo efêmero e sem fundamentos. Porém, o autor foi cauteloso ao expor sua conclusão alegando que “este resultado parece indicar a viabilidade de levar controvérsias para a educação básica, desde que se tome as precauções necessárias para gerenciar os riscos envolvidos nesse processo” (BAGDONAS, 2015, p.191).

#### **4.7 Problematizações, ensino por investigação e cosmologia**

O trabalho de Seferin *et al.* (2015) abordou a cosmologia junto a alunos e professores do ensino médio através do ensino por investigação como proposto por Azevedo (2004). Nessa abordagem, os alunos são apresentados a uma questão problematizadora sobre o tema que estão estudando e, a partir da reflexão e debate, constroem um novo significado para o seu conhecimento prévio em relação à questão. Os professores são elementos muito importantes nesse processo, pois são a ponte entre os conhecimentos prévios dos estudantes e

o conhecimento escolar a cerca do assunto abordado. Nesse trabalho, os autores fizeram uso de três questões problematizadoras referentes à expansão do universo e da Teoria do Big Bang, e os alunos trabalharam em grupos. Como resultados apontados, o trabalho destaca que as atividades investigativas funcionaram significativamente bem nessa proposta, tendo os alunos assimilado e aprendido os conceitos, sendo uma prática bem desenvolvida a partir do conceito de questão problematizadora, constituindo uma outra alternativa de metodologia de ensino para a cosmologia. Outra proposta desenvolvida em conjunto com professores foi a de Jardim e Guerra (2013) na qual eles se propuseram a desenvolver um minicurso abordando temas de cosmologia para alunos do último ano de um curso de licenciatura em Física. Sua proposta foi de apresentar o assunto de um ponto de vista histórico-filosófico e conceitual, sem entrar em rigores matemáticos. Depois da intervenção em forma de minicurso, os professores foram convidados a responderem algumas perguntas para que o processo pudesse ser avaliado. Todos relataram se sentir inseguros para trabalhar cosmologia em sala de aula ou por não terem conhecimento suficiente sobre o assunto ou por terem de dedicar um tempo grande para isso, sendo que as atividades de sala de aula não deixavam tempo sobrando para tal.

#### **4.8 A matéria escura como oportunidade de ensino**

A partir da dissertação de Ximenes (2016) podemos ver como a cosmologia pode ser abordada no Ensino Médio apenas através de alguns dos seus assuntos específicos como, no contexto do seu projeto, a matéria escura. Toda sua abordagem foi desenvolvida em torno desse tema, mais especificamente, sobre as questões envolvendo quais foram as razões que levaram a proposição da hipótese da matéria escura. Os alunos foram convidados a responderem algumas questões, anteriores à aula, referentes basicamente a entender como é feita a detecção de objetos invisíveis e, como, conceitualmente, a velocidade angular de um corpo orbitando outro diminui conforme o raio da órbita circular aumenta, tudo dentro da perspectiva da Física newtoniana e Leis de Kepler, conhecimentos considerados como parte do universo dos alunos. Depois de respondidas estas questões, o professor as utilizou para preparar sua aula sobre matéria escura e os alunos foram convidados a assistir, durante 50 minutos, uma aula sobre esse assunto. As principais divergências apresentadas pelas velocidades de galáxias observadas (mostradas através de dados reais para os alunos) com os resultados previstos pelas teorias clássicas constituíram o link utilizado pelo professor para apresentar a matéria escura à turma. Segundo o professor, “o espanto dos alunos nesse

momento foi visível” (XIMENES, 2016, p.43). O assunto prosseguiu, os alunos fizeram e discutiram sobre os cálculos até que compreenderam de onde surgia a hipótese de matéria escura como explicação ao fenômeno. Somente depois dessa conclusão que o professor mostrou as evidências consideradas pela maioria da comunidade científica para a matéria escura. Neste ponto, fica evidente como apenas alguns assuntos isolados da cosmologia são temas com grande potencial para capturar a atenção e interesse dos alunos e desenvolver todo um processo de aprendizado de conceitos novos e fixação e contextualização de conhecimentos prévios. Ao aplicarem as equações clássicas, as quais já conheciam, diante de um fenômeno observado que o professor os apresentou, e observarem que não eram suficientes para este problema, tiveram a oportunidade de conhecer um novo assunto e expandir o seu conhecimento. Depois da aula, eles responderam um novo questionário em que demonstraram ter aprendido os novos conceitos ensinados. O autor descreveu essa metodologia de ensino como “ensino sob medida” e resumiu como foi a sua ação pedagógica.

No ensino sob medida as questões prévias têm a função de despertar o interesse dos estudantes para o tema a ser abordado em sala de aula, fazê-los pensar em alguns conceitos essenciais à compreensão do assunto e sinalizar (através das respostas) as dificuldades que eles encontrarão durante a aula, dando ao professor oportunidade de minimizá-las (daí o “sob medida”). As questões pós-aula servem como instrumento de avaliação da eficiência da aula e indicam se o tema deve ser retomado ou não nas aulas seguintes.

Assim, podemos ver a partir dessa prática como a cosmologia também pode ser abordada somente com temas específicos, e ainda assim despertar a curiosidade e entusiasmo dos estudantes. Outro fator a ser observado foi que o professor utilizou, basicamente, somente 50 minutos de aula, mostrando uma alternativa que pode ser útil em casos que, por variados motivos, não exista tanta disponibilidade de tempo para trabalhar tais temas.

#### **4.9 As limitações e problemas da prática da cosmologia em sala de aula**

Skolimoski (2014) teve o objetivo de mostrar e discutir em sua dissertação quais são as possibilidades e problemas relacionados ao ensino de cosmologia nas aulas de Física do ensino médio, tendo como contexto as escolas estaduais do estado de São Paulo. Para isso ela aplicou questionários para professores de Física da rede com perguntas sobre como eles enxergam uma possível inserção de cosmologia nas aulas, quais seriam as possibilidades geradas e quais as principais dificuldades enfrentadas. Ela também faz uma rica descrição da

história da cosmologia, partindo de antigas cosmologias míticas e religiosas como a Maia, passando por várias culturas, até chegar na contemporaneidade com a cosmologia moderna, constituindo um vasto material para pesquisa. Como premissas para propor a cosmologia como ferramenta pedagógica para o Ensino Médio, a autora fundamentou seu trabalho, principalmente, em Paulo Freire (1983), utilizando seu conceito de tema gerador, e também em David Ausubel, tal como discutimos quando abordamos a questão da aprendizagem significativa e os conhecimentos prévios (subjunçores). A cosmologia como tema gerador nessa pesquisa tem a função de estabelecer o diálogo entre os educandos e o educador, uma vez que é parte comum do mundo de ambos e permite que construam juntos seus conhecimentos. O apelo natural que a cosmologia faz às questões da existência humana e do Universo é um dos fatores que promovem o diálogo e a discussão nessa construção, permitindo aos educandos responderem e problematizarem sobre suas próprias concepções cosmológicas. Sobre isso, ela relata:

É nesse sentido que, aproximando-nos da pedagogia freireana, defendemos a cosmologia como tema gerador nas aulas de física, uma vez que ela é parte importante do desenvolvimento histórico da ciência, e permite responder a perguntas fundamentais da humanidade. Quem somos? De onde viemos? Para onde vamos? Sendo assim, esse tema pode possibilitar, de diversas formas, o diálogo entre educador e educandos, na busca pela construção de um conhecimento significativo para ambos, uma vez que todos temos cosmologias, que respondem a essas perguntas fundamentais, sejam elas científicas ou religiosas, e o diálogo entre essas visões de mundo favorecem uma educação problematizadora. (SKOLIMOSKI, 2014, p.29)

A pesquisa aponta como resultados que os professores entrevistados realmente consideram o ensino de cosmologia como motivador para o interesse dos alunos e uma ferramenta multidisciplinar, com muitas possibilidades para suas aulas. Porém, existem dificuldades envolvidas nesse processo. A principal dificuldade apontada é a falta de formação dos professores nesses conhecimentos durante a graduação ocasionada por dois motivos: a maioria dos professores que lecionam Física não foram formados nessas áreas e, os que foram, tiveram muito pouco ou nenhum contato com cosmologia, uma vez que, na maioria dos cursos, ela é uma disciplina optativa. Outro fato evidenciado pela pesquisa que desestimula essa ciência nas aulas é devido à carga horária exaustiva que os professores têm que assumir para se sustentar, o que os impede de participarem de projetos de formação continuada e cursos de extensão. Por último, não menos importante, também revela que o currículo dos cursos de Física é saturado, contendo muitos conteúdos e poucas aulas disponíveis para trabalhá-los, deixando muito pouco tempo para inserção de outras

atividades além das obrigatórias.

É interessante notar que o trabalho de Skolimowski (2014) nos mostra que existem muitas questões complexas envolvidas quando o assunto é inserir a cosmologia como prática de ensino em Ciências. A partir das falas dos professores podemos notar que existem problemas sérios de dimensões maiores nesse contexto, como a sobrecarga de trabalho enfrentada, obrigando-os a assumirem muitas aulas para garantir sua dignidade econômica, trabalhado de maneira desgastante, e assim, têm a qualidade do seu trabalho naturalmente diminuída. A obrigação de cumprir um currículo extenso, que contempla muitos assuntos, mas disponibiliza poucas aulas, tornando qualquer possibilidade de realizar outras atividades em sala de aula que diversifiquem o aprendizado e enriqueçam o conhecimento quase nula. Interpretamos, assim, que os trabalhos que se comprometam a pesquisar o processo da inserção da cosmologia na educação básica brasileira devem estar atentos às questões trazidas por essa autora e não as ignorar em suas pesquisas.

## **5 BASES CONCEITUAIS E HISTÓRICAS DA COSMOLOGIA MODERNA PARA O ENSINO**

Neste capítulo, são descritas algumas bases históricas e conceituais da cosmologia moderna em uma perspectiva científica. O objetivo é justificar a inserção da cosmologia como tema para o ensino médio dentro do contexto do ensino de ciências brasileiro.

### **5.1 O “porquê” da cosmologia no ensino de ciências**

Aqui mostraremos um pouco da discussão acerca do ensino da cosmologia como um compromisso social e científico no ensino escolar, mais especificamente no ensino médio. Também resolvemos mostrar uma breve parte do desenvolvimento histórico inicial e da estruturação dos conhecimentos da cosmologia moderna, a fim de embasar ainda mais a natureza deste conhecimento e sua importância para professores e alunos. Helge Kragh, físico e historiador da ciência, com formação também em química e filosofia, professor da Universidade de Aarhus (Dinamarca), é especialista em história da cosmologia, e também desenvolve trabalhos sobre o ensino dessa ciência, tanto na educação básica quanto no ensino superior, de forma que ele é uma fonte importante de consulta para o trabalho.

### 5.1.1 O ensino da Cosmologia moderna como compromisso social e científico

A proposta de iniciativas que diversifiquem e incentivem o ensino de ciências não deve ser compreendida como apenas um aumento na gama de conteúdos e temas científicos para as aulas, mas como uma questão mais ampla de compromisso social e com o pensamento científico.

Cachapuz (2012), ao se colocar a refletir sobre sua prática de anos como professor de ciências, elenca alguns dos aprendizados oriundos de suas experiências. A primeira grande ideia que destaca é de que aprender ciências também pode ser uma maneira de alcançar uma maior criticidade perante o mundo e, assim, interpretá-lo, inclusive sob os aspectos daquilo que, a princípio, não se pode ver em um exame superficial de determinada questão. Lembrando-se dos anos que chegou à França, como um refugiado da guerra, o autor expõe:

Também eu tive de me tornar estrangeiro na França, durante longos anos. E foi aí que me iniciei nas narrativas das ciências e no modo peculiar como elas interpretam o mundo, ensinando-me a ver para além do imediato visível. Devo a Robert Wolf, químico e filósofo, então meu orientador de pesquisa, essa iniciação no quadro de uma visão humanista da ciência. (CACHAPUZ, 2012, p.13)

Para o autor, conhecer as ciências assume um caráter íntimo com o exercício da cidadania participativa, ou seja, uma cidadania em que as pessoas realmente são ativas e realizam suas escolhas conscientemente, sendo o conhecimento da ciência um elemento importante nesse processo:

Dessas vivências sobejou em mim a convicção do laço estreito entre o exercício da cidadania participativa e o progresso do conhecimento científico. Ou seja, que as sociedades democráticas necessitam, para sobreviverem enquanto tais, da participação esclarecida dos seus cidadãos. (CACHAPUZ, 2012, p.13)

O autor também defende que, reafirmando a democracia participativa através do estímulo ao conhecimento científico, o desenvolvimento de tecnologias (tecnociências) também sofreria consequências positivas por ser esse modelo de democracia um eixo orientador e regulador do processo de concepção e uso das tecnologias em sociedade. Por fim, conclui:

uma adequada cultura científica valoriza a cidadania, reforça a democracia participativa e ajuda a reconstruir o desenvolvimento da tecnociência segundo linhas mais democráticas. (CACHAPUZ, 2012, p. 15)

Essa primeira “aprendizagem” relatada do autor, pode ser relacionada com o que

Bunge (2002) fala sobre sociedade e educação. Para este, existem três concepções gerais sobre o conceito de sociedade – individualista, globalista e sistemática. Estaremos interessados na sistemática, porém é interessante antes que se conceitue cada uma delas. A chamada concepção individualista, concebe a sociedade como sendo uma coleção de indivíduos, sendo que as características dessa sociedade nada mais são do que um conjunto de coleções das características individuais de cada pessoa. Nessa concepção, qualquer conceito supra individual é abstrato, sendo a sociedade apenas uma ideia. Para se estudar uma sociedade, basta estudar as características e propriedades individuais dos seus membros. Bunge (2002) aponta John Stuart Mill como um exemplo de filósofo que compartilhava dessa visão. A concepção globalista entende a sociedade como transcendente ao indivíduo, ou seja, ela é uma entidade além da identidade de seus membros, possuindo algumas características intrínsecas à sua natureza. Dessa forma, ela age mais fortemente sobre os indivíduos do que os mesmos sobre ela. Hegel é apontado pelo autor como um filósofo de concepção social globalista. A crítica que Bunge faz sobre essas duas concepções é o fato de que, no individualismo, a materialidade das relações entre os indivíduos é negada, sendo considerada qualquer forma de interação apenas no plano das ideias. Já os globalistas erram por não considerar a materialidade individual como também parte de uma sociedade, ou seja, adotam o conceito de conjunto (sociedade) como independente de seus membros (indivíduos). Assim, como o autor defende, a concepção sistemática é a mais coerente, por entender a sociedade como fruto das relações entre os indivíduos, sendo esses também atuantes na própria sociedade. São levadas em conta, no estudo da conduta social, as características individuais biológicas, psicológicas e mesmo as sociais. Para a concepção sistemática, uma sociedade é composta principalmente pelas suas relações sociais e também por seus indivíduos. Uma das formas de relações sociais elencadas por Bunge (2002) é educação formal escolar. Sendo considerada como uma tecnologia social, a educação escolar é uma das tantas formas que possibilitam a existência da sociedade, dentro da perspectiva sistemática, contribuindo para a sua formação. Trazendo para essa discussão o conceito da educação científica como instrumento de cidadania e democracia participativa de Cachapuz (2012), é coerente dizer que, a partir das ideias dos dois autores, promover ações e iniciativas que fomentem e desenvolvam o ensino de ciências é, indiretamente, contribuir para uma coesão social democrática, reflexiva e crítica, em que seus membros agem conscientemente nas tomadas de decisão.

Voltando à reflexão que Cachapuz (2012) faz sobre sua prática como professor de ciências e os aprendizados que obteve nesse exercício, outro ponto que ele traz à tona se

refere à necessidade constante de procurar, cada vez mais, ampliar o espectro dos temas em educação científica e conhecer novas metodologias referentes ao ensino/aprendizagem. O autor coloca o processo de ensino de ciências como um exercício de humildade intelectual, reconhecendo as muitas possibilidades existentes e evitando os “fundamentalismos metodológicos” (p.17). Sobre isso, ele reflete:

No ensino de ciências, temos de explorar bem os dispositivos e instrumentos que temos e que não abundam. Em particular, temos quadros de referência, mas não temos à nossa disposição, nem é crível que o tenhamos a curto ou médio prazo, uma teoria geral capaz de unificar e dar coerência a conceitos, fenômenos e circunstâncias sobre o ensino das ciências. (CACHAPUZ, 2012, p.17)

Ensinar ciências se torna algo dinâmico e com muitas possibilidades, sem o “mito” de que existe a maneira correta e única de se fazer isso, ou, como dito, uma “teoria unificada”. O exercício de humildade intelectual se dá não só em reconhecer a diversidade de possibilidades de temas e metodologias, mas, principalmente, em aplicá-las. Refletindo sobre sua própria vivência, o autor conclui que “o ensino de ciências deve valorizar uma visão eclética e tolerante do conhecimento, explorando em cada caso saberes diversos e circunstanciais” (CACHAPUZ, 2012, p.17).

Porém, não adianta que a pesquisa na educação científica busque por esses caminhos e temas e mesmo assim não tenha impacto na sala de aula, na comunidade escolar ou até mesmo entre autoridades de ensino. Dentre os principais fatores que levam a isso, o autor relata:

O primeiro problema é a natureza da pesquisa, excessivamente acadêmica. A maioria das questões de pesquisa nasce no interior da comunidade de pesquisa e termina nela. Governos, professores e pais querem respostas rápidas e práticas para problemas específicos. (CACHAPUZ, 2012, p.28)

Encontrar formas adequadas de fazer com que a pesquisa em educação científica chegue à sociedade é também uma forma de possibilitar que ela possa causar impacto na mesma, e que, contrariamente, não fique restrita ao academicismo, em forma de trabalhos que apenas cientistas consigam ler e de pontos de “produtividade” em currículos acadêmicos. Voltando ao conceito de sociedade sistêmica que discutimos acima, como esperamos contribuir para a coesão de uma sociedade democrática, crítica e cidadã, se as relações que propomos, através das pesquisas e trabalhos, ofício principal de qualquer cientista, se limitam a nichos acadêmico-sociais reduzidos, uma vez que uma sociedade é formada pelo

relacionamento entre seus membros? Tal atitude resulta em uma fragmentação social, sendo que a ideia de sociedade como grupo maior e, portanto, democrática, fica esquecida. É um dever ético de pesquisadores como nós, oriundos de instituições e recursos públicos, pensar e executar maneiras de socializar o conhecimento acadêmico, mesmo que isso exija tanto tempo e trabalho quanto o ato de “pesquisar”, pois é direito de quem realmente nos financia (a sociedade) ser impactado por esses conhecimentos. Sobre isso, o autor reflete:

O segundo problema tem a ver com a comunicação entre a comunidade de pesquisadores e as diferentes comunidades (pais, professores, decisores políticos, poder local...). Frequentemente, os pesquisadores não escolhem os meios mais adequados para dizer o que deve ser dito para diferentes audiências [...] os artigos de pesquisa tradicionais só são úteis para circulação interna na comunidade de pesquisadores. Pouco mais alguém os lê. (CACHAPUZ, 2012, p.29)

A crítica não é um apelo à banalização da linguagem científica, muito menos à sua extinção. É apenas um “lembrete” de que é necessário pensar em meios de expandir a mensagem da pesquisa científica (neste caso, a do ensino de ciências) e aumentar sua visibilidade e impactos públicos, tornando-a relevante para uma sociedade. Um dos exemplos citados como ações que façam essa aproximação, são os projetos voltados para a escola, em que o pesquisador se insere em temas que estarão diretamente em contato com professores, alunos e comunidade escolar, clarificando o que é a pesquisa em ensino de ciências e quem ela visa prioritariamente impactar.

O compromisso social do ensino de ciências, como ferramenta de coesão da sociedade e construção de uma democracia participativa, que de fato funcione, tendo seus membros condições reais de tomar decisões e atitudes para com o todo, parece se evidenciar ainda mais em um contexto de pandemia, tal como vivemos atualmente, especialmente no Brasil. Superado o número de mais de 390 mil mortes neste país, sendo mais mortes nos últimos quatro meses dos anos de 2021 do que em todo ano de 2020, alguns trabalhos mostram que ainda assim a quantidade de desinformação, notícias falsas (fake news) e anticientíficas em relação à pandemia é significativa e crescente, e, muitas vezes, parte das próprias entidades governamentais e religiosas (SOUZA REZIO; DA SILVA, 2020; FETTER, 2020; SILVA; SILVEIRA, 2020; CHRISPINO; MELO; ALBUQUERQUE, 2020). Teorias da conspiração que colocam a COVID-19 como uma doença falsa, desacreditam as vacinas e os métodos de contenção do vírus e proteção das pessoas, tais como distanciamento social e uso de máscaras, são as mais utilizadas por grupos, governantes, religiosos e outros, como mecanismo de desinformação. Como já discutimos

nesse trabalho, as pesquisas recentes sobre alfabetização científica mostram que nossos jovens e crianças sentem uma dificuldade muito grande para discernir e analisar entre a falsidade/veracidade das notícias de cunho científico. Sendo assim, o que esperar de um cenário tal como esse, repleto de desinformação acerca de uma doença mortal? Tal como mostra Nobre-Silva e Arrais (2020, p.1), a partir da análise do discurso de autoridades municipais, estaduais e federais:

os discursos governamentais inauguraram uma avalanche de (des)informação, que acabou por conduzir parte da população a seguir posturas inadequadas. Em algumas instâncias, houve uma consciência coletiva, sobressaindo as recomendações da ciência em detrimento de “achismos”.

Os autores concluem sobre a importância de reforçar as práticas de ensino de ciências, a fim de uma alfabetização científico-tecnológica, para que os cidadãos possam de fato conhecer a sua realidade e agir sobre ela baseados na sua análise crítica e complexa. Carl Sagan (1996), na década de 90, já falava sobre como poderia ser o cenário de uma sociedade dos nossos tempos que desconhece o pensamento científico e crítico:

[...]os temíveis poderes tecnológicos estarão em mãos de uns poucos e ninguém que represente o interesse público poderá aproximar sequer aos assuntos importantes; a gente terá perdido a capacidade de estabelecer suas prioridades ou de questionar com conhecimento aos que exercem a autoridade; nós, obstinados a nossos cristais e consultando nervosos nossos horóscopos, com as faculdades críticas em declive, incapazes de discernir entre o que nos faz sentir bem e o que é certo, iremos deslizando, quase sem nos dar conta, na superstição e a escuridão. (SAGAN,1996, p.43)

Dessa forma, o ensinar ciências para a sociedade, especialmente jovens e crianças, assim como o desenvolvimento de estratégias e ações que tenham como objetivo a evolução desse ensinar, para que ele alcance e cative cada vez mais cidadãos, e os torne críticos e pensadores sobre a complexidade das informações que os cercam, se tornando membros de uma só sociedade democrática-participativa e coesa, é um compromisso social e ético por parte dos educadores científicos. E, numa bela e poética coincidência, Paulo Freire (2014) e Carl Sagan (1996) se encontram, ao concordarem que “educação é um ato de amor, por isso, um ato de coragem ” (FREIRE,2014, p.96) e que “não explicar ciência me parece perverso, quando um se apaixona quer contá-lo ao mundo” (SAGAN, 1996, p.42).

## 5.2 O universe existe?

O idealismo é uma posição filosófica que nega a existência material dos objetos e do mundo, existindo esses apenas no plano das ideias e do espírito (ABBAGNANO, 2007, p.523). Não existe matéria independente de nossas sensações, pois a existência está reduzida ao pensamento. Immanuel Kant, um dos expoentes dessa corrente filosófica, define-a como sendo uma filosofia em que a existência dos objetos “é duvidosa e indemonstrável, ou falsa e impossível” (ibidem, p.523). Como discutem Westphal *et al.* (2004), a respeito de outro filósofo idealista, chamado George Berkeley, para ele uma maçã é apenas um grupo de sensações da visão, olfato e paladar e nada mais, ou seja, a existência do objeto está inteiramente condicionada e limitada pela subjetividade do homem. Seria, dessa forma, o universo apenas um pensamento? Existiria ele somente no plano das ideias? Para a cosmologia moderna, a resposta a estas duas perguntas é “não”.

Segundo Mário Bunge, físico e filósofo da ciência, “se não crêssemos na existência do mundo e na possibilidade de conhecê-lo, mesmo que em parte, não nos esforçaríamos por fazer teorias nem experimentos, ou ao menos não alcançaríamos nenhum êxito em nossa exploração” (BUNGE, 1985, p.167). O que justificaria então a existência de uma ciência chamada cosmologia moderna? A simples criação humana dessa ciência significa, segundo Bunge, uma atitude não idealista de seus praticantes em relação ao objeto que se propõe a estudar, nesse caso, o universo. Dessa forma, para o “cosmólogo moderno”, o universo não é um pensamento ou uma ideia, mas um objeto de existência independente de nossa subjetividade. Pode-se chamar essa atitude de realista, a qual:

representa a concepção que afirma que o ente real existe em si, independentemente de nosso conhecimento; que, por conseguinte, o ser não é mera produção do sujeito pensante; que o sentido do nosso conhecimento é adequar-se, assimilar-se ao ente, apreendê-lo como ele é em si, e que tal objetivo se pode alcançar, ao menos dentro de determinados limites. (WESTPHAL *et al.*, 2004, p.586)

Como se verá a seguir, em uma História da Cosmologia Moderna, nenhum cosmólogo desse período conduziu seus estudos partindo do ponto de que o universo era um sentimento ou uma ideia, mas a atitude de todos (explícita ou implícita) é para com um universo como objeto material, acessível, pelo menos em partes, às tentativas do conhecimento humano. Portanto, ontologicamente, pode-se dizer que a cosmologia moderna é uma ciência de concepção realista em relação ao universo.

## 5.2.1 Como se conhece(u) o universo (ou parte dele), a partir da cosmologia moderna? Um pouco de História

Para entender a forma e os métodos de como a cosmologia moderna procurou interpretar o universo, se faz necessário buscar as suas histórias. Como se verá a seguir, esse conhecimento cosmológico se desenvolveu, partindo da concepção de um universo material, sob um conjunto de teorias e experimentações científicas, sendo necessário ambas para que conclusões/validações desse mesmo conhecimento fossem feitas. Como elenca Mário Bunge, algumas teses das ciências que trabalham numa ótica realista crítica consideram que:

Há coisas em si mesmas, isto é, objetos cuja existência não depende de nossa mente[.] O conhecimento de uma coisa em si é alcançado em conjunto pela teoria e pelo experimento, nenhum dos quais pode proferir vereditos finais sobre coisa alguma. (BUNGE, 2019, p.129)

O nascimento da cosmologia moderna é marcado por grande influência dos desenvolvimentos matemáticos envolvendo a geometria do espaço físico. Segundo Kragh (2007), ela tem início entre os anos de 1915-1917, quando Albert Einstein publica a sua Teoria Geral da Relatividade. Tal teoria propôs uma mudança significativa no entendimento do espaço físico (na verdade, espaço-tempo), ao incorporar a noção de espaço curvo (geometria não-euclidiana) para descrição do universo. Depois da publicação dessa teoria, em 1915, passaram dois anos até que dois modelos matemáticos cosmológicos surgissem – um do próprio Einstein e outro de seu colega, um holandês chamado Willem de Sitter. Antes de falar sobre esses modelos, propriamente, é necessário voltar um pouco mais na história para que se entenda partes de como foi o desenvolvimento da geometria não-euclidiana.

## 5.2.2 Contexto “pré - Teoria da Relatividade Geral”

Os primórdios da geometria não-euclidiana, a qual foi fundamental para o desenvolvimento da Teoria Geral da Relatividade e do modelo cosmológico de Einstein, datam de, aproximadamente, 100 anos antes da publicação do mesmo. De acordo com Kragh:

O modelo de universo que Einstein propôs em 1917, e que anunciou uma revolução na cosmologia teórica, era baseado em concepções de espaço (e, no caso de Einstein, de espaço-tempo) com raízes em meados do século XIX. Durante séculos, pensou-se que o espaço, tanto no sentido puramente geométrico quanto no sentido de experiência, obedecia às regras da geometria euclidiana. (KRAGH, 2007, p.125)

Em um espaço euclidiano, por exemplo, a soma dos ângulos internos de um triângulo

é sempre  $180^\circ$  graus e duas linhas paralelas nunca irão se cruzar. O que Kragh explica acima é que tanto em termos puramente matemáticos, ou seja, sem obrigatoriamente uma relação com modelos físicos/experimentais, por muito tempo, se considerou apenas a existência dessa geometria na resolução e modelagem de problemas. A história começa a mudar quando, por volta do início do século XIX, matemáticos, através de “pura curiosidade matemática”, começam a investigar a possível existência de geometrias diferentes da euclidiana e suas relações com o espaço físico.

Foram três matemáticos europeus que, independentemente uns dos outros, formularam a primeiras bases das geometrias não euclidianas (IBIDEM, p.126). Carl Friedrich Gauss, também chamado de “príncipe da matemática”, devido à sua grande dedicação e contribuição a várias áreas dessa ciência (MELO, 2015), já trabalhava com a hipótese de que a geometria euclidiana não correspondesse fielmente ao espaço físico, o que deveria ser realizado também com experimentação mecânica. Ele considerava que seria possível conhecer a estrutura geométrica do espaço através de observações/experimentações. Em seus estudos e experimentos no assunto, não chegou a uma conclusão definitiva, porém, um aluno seu, chamado Bernhard Riemann, anos mais tarde, faria substanciais avanços na questão. Bem antes disso, no início da década 1830, outros dois matemáticos, o húngaro János Bolyai, e o russo Nikolai Lobachevskii, já haviam publicado trabalhos envolvendo geometrias não-euclidianas, porém, não tiveram grande publicidade e ficaram desconhecidos por muito tempo. Lobachevskii, assim como Gauss, também chegou a realizar experimentos para tentar estudar a geometria do espaço físico. No seu caso, ele utilizou a posição de estrelas, formando entre elas um triângulo, e mediu os ângulos internos da figura. De fato, ele chegou em um valor diferente de  $180^\circ$ , porém, como era um valor muito pequeno, o que poderia ser atribuído a erros de observação e/ou medição do processo, “hesitantemente concluiu que sua nova geometria não tinha aplicações na natureza” (KRAGH, 2007, p.126).

Continuando os trabalhos de seu professor Gauss, Riemann, em 1854, teoriza matematicamente três possíveis geometrias para o espaço. Para isso, antes, ele formaliza a curvatura como sendo uma propriedade intrínseca à geometria, ou seja, no seu modelo de espaço, a curvatura é uma propriedade constante e assumirá um valor (por exemplo,  $k$ ). Assim, ele estabelece 3 possíveis geometrias, de acordo com o valor de  $k$ : plana ou curvatura nula (correspondente à euclidiana,  $k = 0$ ), hiperbólica (curvatura negativa,  $k < 0$ ) e esférica (curvatura positiva,  $k > 0$ ). Embora Riemann faça pequenas sugestões entre possíveis conexões da sua nova geometria entre a física do espaço, elas não são no sentido da astronomia/cosmologia da época, mas apenas relacionadas à física de pequenos espaços.

Como a informação ainda circulava em taxas infinitamente inferiores às quais temos hoje, demorou quase 15 anos para que os trabalhos de Riemann, Lobachevskii e Bolyai fossem divulgados em maior extensão nos círculos científicos da época. Foi um italiano chamado Eugenio Beltrami que traduziu e colocou estes trabalhos de uma forma “melhor argumentada e clara” (IBIDEM, p.126) no ano de 1868. Uma das primeiras tentativas de se utilizar a geometria não-euclidiana na estrutura do universo foi feita por um astrônomo, o qual também terá um papel importante, anos depois, no contexto da cosmologia moderna. Karl Schwarzschild, alemão, também almejava conhecer a estrutura do espaço através da observação, assim como Gauss e Lobachevskii haviam tentado. Em seus cálculos, por volta de 1900, Schwarzschild encontrou dois valores para o possível raio do universo, caso este tivesse uma geometria não-euclidiana. No caso do espaço hiperbólico de Riemann ( $k < 0$ ), o raio do universo seria de, aproximadamente, 4 milhões de unidades astronômicas (UA,  $1UA = 1,4 \times 10^{11}m$ ). Caso tivesse curvatura positiva ( $k > 0$ ), seu raio seria de 100 milhões UA (ibidem, p.127).

É interessante notar o que Kragh (2007) também relata sobre outros posicionamentos contrários, à essa mesma época, sobre a intenção de se conhecer a estrutura do espaço a partir da observação. Henri Poincaré, engenheiro, físico e matemático muito importante em vários campos da ciência, não considerava ser possível entender o espaço a partir da observação e experimentação, pois elas só poderiam nos dizer sobre a estrutura e comportamento de objetos materiais, mas nada do espaço:

Com base em sua concepção convencionalista de ciência, Henri Poincaré, na França, argumentou da mesma forma que experimentos e observações não tinham valor quando se tratava de uma determinação da estrutura do espaço; eles só podiam nos falar sobre as relações que existem entre objetos materiais, como barras rígidas. Para Poincaré, a geometria do espaço não era algo que pudesse ser determinado objetivamente, era apenas uma convenção. Devia-se escolher a geometria que permitisse a descrição mais simples da natureza, e essa geometria, acreditava ele, era euclidiana. (Kragh, 2007, 127)

Para exemplificar o que queria dizer, Poincaré até elaborou um experimento mental em que ele atribuía, por exemplo, que o espaço estivesse se expandindo (essa ideia contida no experimento não deve ser interpretada como se Henri Poincaré estivesse já teorizando sobre a expansão do universo, uma vez que se constitui apenas de um exemplo didático para representar uma ideia). Segundo ele, como seria possível elaborar um experimento para detectar essa expansão, uma vez que todos os objetos que estivessem contidos nesse espaço também se expandiriam na mesma taxa que ele? Na concepção de Poincaré, o que acontecesse no espaço também deveria acontecer com o objeto que estivesse contido no

mesmo, sendo, portanto, impossível realizar experimentações nesse sentido. Um amigo de Poincaré, o cientista e filósofo francês Auguste Calinon, também se envolveu com a questão, e discordava do colega francês. Para Calinon, a geometria euclidiana não deveria ser preferível só porque fosse mais simples. Ao invés, ele considerava que talvez a geometria do espaço não necessitasse ser constante, mas sim variar com o tempo. Em um artigo (filosófico) ele sugeria “que o espaço pode diferir da forma euclidiana em distâncias muito grandes e que a lei da gravitação de Newton pode, conseqüentemente, precisar ser modificada” (KRAGH, 2007, p.128). Ele não aprofundou matematicamente seus conceitos, ficando a teoria sem desenvolvimento.

É notável se deparar com a postura de Poincaré, substancialmente filosófica, que revela a existência de atitudes ontológicas contrárias em relação à estrutura do espaço no limiar da época do nascimento da cosmologia moderna. Nessa atitude, a estrutura do espaço não poderia ser conhecida, pois ela era inerente aos objetos nela contidos, de modo que não haveria como diferenciar um experimento realizado em um espaço e do corpo nele contido. Porém, como visto, existia também o posicionamento contrário de que sim, seria possível conhecer a estrutura do espaço físico através da observação/experimentação, e a geometria não-euclidiana parecia ser uma ferramenta útil. Salvo de apresentar uma visão romantizada e não crítica da ciência, mas é preciso reconhecer o papel de um cientista que viria a dar contribuições significativas e esclarecedoras a esta questão (claro que apoiado em trabalhos e conhecimentos de outros tantos cientistas, contemporâneos a ele ou não) e assim seriam os primórdios de uma nova cosmologia.

### **5.2.3 A Teoria Geral da Relatividade (TGR)**

Em 1905, Albert Einstein publicou a Teoria Especial da Relatividade (ou teoria restrita da Relatividade). Nessa teoria, o espaço e o tempo não são independentes entre si, mas um espaço-tempo contínuo interdependente. Ele ainda utilizava princípios da matemática euclidiana na teoria e desenvolveu matematicamente esse espaço-tempo com 4 coordenadas – 3 espaciais e 1 temporal. Entre os anos de 1907 e 1908, um matemático alemão chamado Hermann Minkowski aprimorou tal formulação matemática e o espaço-tempo passa a ser conhecido como espaço de Minkowski.

O caminho da Teoria Especial, assim chamada por tratar de apenas referenciais acelerados mas sem relacioná-los com a gravidade, começou a rumar para uma teoria mais abrangente, a qual relacionaria a aceleração e o campo gravitacional, no ano de 1907. Nesse

ano, Einstein postulou o princípio de equivalência, o qual diz que não é possível distinguir os resultados de um mesmo experimento caso ele seja realizado em um “referencial uniformemente acelerado ou em um campo gravitacional homogêneo” (KRAGH, 2007, p.129). Einstein chega à conclusão, em seus estudos, que o ritmo do tempo marcado por um relógio que fosse aproximado de um corpo massivo (forte campo gravitacional) seria desacelerado em relação a outro que estivesse sobre uma interação menor com o mesmo campo (mais distante, por exemplo). Desenvolvendo esse raciocínio, ele demonstrou, através de equações, em um artigo de 1911 (EINSTEIN, 1911), que um raio de luz emitido de uma superfície esférica de massa  $M$ , raio  $R$ , sofreria um desvio gravitacional ( $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ ):

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{GM}{c^2R}$$

onde  $G$  é a constante gravitacional e  $c$  é a velocidade da luz. Em suma, isso quer dizer que um raio de luz poderia sofrer um desvio na sua trajetória caso fosse afetado por um campo gravitacional. Em sua explicação para o fenômeno ele diz que o efeito não pode ser entendido como a luz sendo atraída pela massa  $M$ , tal como se explicaria na gravitação newtoniana, mas pela geometria do próprio espaço-tempo sendo distorcida pela presença da massa de  $M$ . Ou seja, a gravidade não deveria mais ser compreendida como uma força, mas como os efeitos geométricos de um campo gravitacional, nesse caso, gerado pela presença da massa de  $M$ . Assim, ele calculou que a trajetória de um raio de luz qualquer que passasse nas proximidades do Sol sofreria uma deflexão de 83 segundos de arco (83”). À época, Einstein se comunicou com astrônomos do observatório de Mount Wilson, na Califórnia, entre eles, George Hale, sobre a possibilidade de realizar um experimento para medir o valor que havia encontrado na aplicação da equação da nova teoria. Hale disse que seria possível, porém, haveria de ser durante um eclipse do Sol. Não houve mais comunicações nem andamentos entre eles nesse período. Segundo Kragh (2007), foi só em 1912 que Einstein se dá conta que a geometria não-euclidiana poderia ser útil na descrição do espaço-tempo, e que Riemann já havia desenvolvido conhecimentos significativos dessa geometria em seus trabalhos. Na ocasião, Einstein contou com a ajuda do seu amigo, que também era matemático, Marcel Grossmann para conhecer os trabalhos de Riemann sobre a geometria não-euclidiana. Ele e Grossmann publicam, em 1913, um artigo contendo as primeiras equações de campo para a gravitação (EINSTEIN; GROSSMANN 1913). Entretanto, essas equações ainda não eram covariantes, ou seja, não possuíam validade para todos os referenciais que fossem aplicadas. Ele passou aproximadamente 2 anos (restante de 1913 e

parte de 1914) trabalhando nessa forma não-covariante das equações. Finalmente, em 1915, ele chega na forma covariante e nos dias 18 e 25 de novembro ele publicou dois artigos onde descrevia a Teoria Geral da Relatividade para a Academia Prussiana de Ciências. No segundo artigo, aparece a “equação de Einstein”, a qual relaciona a geometria do espaço-tempo (termos à esquerda da equação abaixo) com a distribuição de matéria e energia (termos à direita):

$$R_{\mu,\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu,\nu}R = -KT_{\mu,\nu}$$

Onde o termo  $R_{\mu,\nu}$  é conhecido como tensor de Ricci, e se refere à métrica de curvatura do espaço-tempo,  $R$  é o raio dessa curvatura, enquanto que  $g_{\mu,\nu}$  são funções relacionadas às coordenadas escolhidas.  $T_{\mu,\nu}$  é o tensor energia-momento e se refere à matéria e energia distribuídas no espaço ( $K$  é uma constante). Em 1916, um astrônomo chamado Karl Schwarzschild, analisando as equações da Teoria Geral da Relatividade para um exemplo de um corpo muito massivo, encontrou soluções que mais tarde iriam servir como fundamentos para o entendimento sobre os buracos negros (isso será abordado mais adiante).

Ainda em novembro de 1915, no primeiro artigo, Einstein calculou qual seria o valor da precessão do periélio do planeta Mercúrio, utilizando a sua Teoria Geral da Relatividade. Esse valor já era conhecido na época pela comunidade científica, através de observações do planeta, e correspondia a 43 segundos de arco (43”). Até então, as tentativas anteriores de outros cientistas para calcular essa precessão se baseavam na mecânica newtoniana, porém os resultados obtidos eram significativamente diversos do valor observado. Einstein encontrou praticamente os mesmos 43” quando aplicou as suas equações. Esse acontecimento é considerado um marco muito importante para a Teoria Geral da Relatividade, uma vez que a questão da precessão do periélio de Mercúrio intrigava astrônomos e demais cientistas há muito tempo. Também é considerado um exemplo de um caso em que a observação de um fenômeno veio antes da teoria em si.

Os artigos de 1915 de Einstein foram publicados em sua versão final em 1916. Nessa versão, ele recalculou o valor encontrado em 1911 para a deflexão do raio luz passando nas proximidades do Sol (83”) e encontrou o “valor de ângulo de 1,7”. (KRAGH, 2007, p.130). Esse, no entanto, era ainda um fenômeno não observado. Foi no ano de 1919 que dois astrônomos ingleses, Arthur Eddington e Frank Dyson, organizaram expedições para a Ilha de Príncipe, na costa africana, e Sobral, no interior do Brasil, de onde seria possível observar

satisfatoriamente o eclipse solar que aconteceria naquele ano, e realizar medidas para averiguar a hipótese de Einstein. Mesmo enfrentando problemas com o tempo e logística, as expedições foram bem sucedidas e encontraram como resultados 1,98” (com incerteza de 0,12”) na Ilha de Príncipe e 1,61” (incerteza de 0,30”) em Sobral. Esses resultados foram considerados como mais uma validação experimental da Teoria da Relatividade Geral e a partir desse ponto Albert Einstein começou a ficar famoso em todo o mundo, alcançando o status de cientista mundialmente conhecido. Uma das várias implicações que a teoria trazia para as ciências, especialmente a ainda Astronomia, era sobre a estrutura do universo em si. Logo após a sua publicação, Einstein começaria a desenvolver trabalhos nessa temática.

#### **5.2.4 O nascimento da cosmologia moderna**

No ano de 1916, o astrônomo holandês Williem de Sitter conhece a Teoria da Relatividade e, através de um convite feito por Arthur Eddington, escreve três artigos em inglês, para uma revista chamada *Monthly Notices*, onde apresenta, pela primeira vez, a teoria de Einstein para o público falante do inglês. No outono europeu deste mesmo ano, de Sitter se encontrou com Einstein para discutirem sobre a teoria, os artigos e implicações astronômicas que ela poderia gerar. Einstein volta suas atenções para essas questões, aplicando a Teoria Geral da Relatividade, e, em 1917, publica o trabalho “Considerações cosmológicas da Teoria Geral da Relatividade” (EINSTEIN, 1917). Neste artigo, o seu modelo cosmológico ideal predizia um universo estático, finito, de geometria espacial esférica em 4 dimensões (3 espaciais e 1 temporal). A abordagem de um universo estático era muito comum nessa época, dadas as poucas observações voltadas para um estudo específico sobre a possível dinâmica, o que seria significativamente desenvolvido por Hubble e Humasson na década posterior. Como ressalta Domingos (2012), “é importante lembrar que, em 1917, a hipótese de um universo estático era bastante razoável. As observações de Edwin Hubble (1889-1953), que seriam consistentes com uma solução não estática, ainda não haviam sido realizadas” (DOMINGOS, 2012, p.1). Como relata Kragh (2007, p.132), “Einstein também foi guiado pelos dados empíricos disponíveis, ou o que ele pouco conhecia sobre eles”, mas, no entanto, sua preocupação principal era que estivesse de acordo com a Teoria Geral da Relatividade, chegando a afirmar que “se, do ponto de vista do conhecimento astronômico, é sustentável, não será discutido aqui”. Em seu modelo, a quantidade de matéria existente no universo é finita assim como suas dimensões espaciais, concluindo que “a curvatura do espaço é variável no tempo e espaço, de acordo com a

distribuição de matéria, mas podemos quase aproximá-lo em termos de um espaço esférico” (KRAGH, 2007, p.132).

Outra influência no modelo cosmológico einsteniano (e também na TGR) foram as ideias de Ernest Mach, um físico e filósofo austríaco (GRACIA, 2019). Basicamente, Mach defendia que o movimento e a massa de cada corpo são determinados por outros corpos do universo juntamente com sua distribuição. De uma forma geral, tal como Hawking e Ellis (1973, p.1) destacam, nessa teoria “as leis locais da física são determinadas pela estrutura em grande escala do universo”. Em outras palavras, “as leis da mecânica deveriam ser vistas como puramente relacionais, isto é, relativas ao universo como um todo” (KRAGH, 2007, p.132). Einstein cunhou o termo “Princípio de Mach”, em 1918, e sua abordagem era de que como a estrutura do espaço-tempo era determinada pela distribuição de massa, a dinâmica local era determinada pela estrutura do universo como um todo, assim, não havia concepção de espaço sem haver matéria. É importante salientar que, embora Einstein vá mudar de ideia em relação ao Princípio de Mach, tempos depois, nessa época, ele ainda era “machiniano”. Para se ter um universo estático, ele teve que aplicar uma constante ( $\lambda$ ), que agiria contrariamente à atração gravitacional entre os corpos, ou seja, uma constante que representasse uma força repulsiva, contrária à gravidade. Essa constante recebeu o nome de “constante cosmológica” e, apesar de Einstein vir a fazer outras ponderações sobre ela anos mais tarde, ela foi importante nesse primeiro modelo cosmológico criado a partir da TGR, em 1917. A necessidade de  $\lambda$  se dava pelo fato de que ela assegurava o universo, com distribuição homogênea de matéria, de entrar em colapso devido às atrações gravitacionais entre os corpos. A constante cosmológica era proporcional à distância entre a matéria, sendo “insignificante em pequenas distâncias mas cada vez mais importante em escalas muito grandes” (KRAGH, 2007, p.133). Em seu modelo, Einstein calculou, erroneamente, qual seria o raio de curvatura do universo, chegando a um valor de, aproximadamente,  $10^7$  anos-luz. Em 12 de março de 1917, ele se correspondeu com de Sitter sobre o assunto, mas não publicou seus resultados. Kragh afirma que “o que importava para Einstein foi que ele teve êxito em construir um modelo do universo com uma curvatura positiva constante, e que esse modelo estava em total acordo com a teoria da relatividade e o princípio de Mach” (KRAGH, 2007, p.134). Pode-se notar a cautela que Einstein tem sobre a compatibilidade entre seu modelo cosmológico com as observações astronômicas em si ao dizer que “do ponto de vista da astronomia, claro, eu ergui não mais que um castelo soberbo no céu” (KRAGH, 2007, p.134).

Em 1917, De Sitter escreve um terceiro artigo para a Sociedade Astronômica Real, baseado na equação de Einstein da TGR. Neste modelo, o espaço é igualmente fechado, como o de Einstein, possui a constante cosmológica, porém, não existe matéria, configurando um espaço vazio. Em outras palavras, o modelo cosmológico de De Sitter previa que o espaço poderia existir independentemente da existência de matéria. Kragh (2007, p.135) salienta que, comparado ao modelo de Einstein, o modelo de De Sitter “era complexo e de difícil conceptualização, em particular porque não estava claro como distinguir as propriedades do modelo em si daquelas relacionadas às coordenadas de representação do mesmo”. Uma característica peculiar era o fato de que, embora o modelo foi considerado como a representação de um universo estático por De Sitter, ele também poderia ser interpretado como um universo não estático, pois, por exemplo, uma das predições de tal modelo era que o tempo pareceria passar mais devagar em regiões distantes de um observador. Como a frequência é uma grandeza inversamente proporcional ao tempo (período), a frequência de um feixe de luz recebido por um observador que estivesse distante da fonte emissora deste feixe seria menor, deslocada para o vermelho (menor frequência), aparentando que o objeto estava se afastando (recessão). No entanto, De Sitter justificava esse fato explicando que o efeito era devido ao sistema métrico que ele estava utilizando na descrição do modelo. Para exemplificar, ele dizia que “as linhas do espectro de estrelas muito distantes ou nebulosas devem assim estar deslocadas para o vermelho, dando origem a uma aparente velocidade radial positiva” (KRAGH, 2007, p.135). O uso da palavra “aparente” reflete a interpretação de que para De Sitter a velocidade não era real, mas um efeito que ele atribuía à métrica do espaço-tempo que estava utilizando. Quando Einstein conheceu o modelo de De Sitter, ele logo ponderou que não era um modelo fisicamente possível, pois violava o Princípio de Mach ao admitir a possibilidade da existência de espaço sem matéria.

Os modelos cosmológicos de Einstein e De Sitter marcam o nascimento da cosmologia baseada na Teoria Geral da Relatividade. Como possíveis candidatos para a estrutura real do universo, ambos os modelos suscitaram o início de novos trabalhos por matemáticos, físicos e astrônomos que analisavam as propriedades de cada modelo e propunham modificações ou acréscimos (KRAGH, 2007). Alguns matemáticos como Felix Klein, Tullio Levi-Civita e Herman Weyl se dedicaram a estudá-los e avaliar qual dos dois modelos era mais satisfatório do ponto de vista da física fundamental, pois as observações astronômicas ainda eram escassas e incertas. O modelo de De Sitter atraiu atenção maior do que o modelo einsteniano, apesar da inexistência de matéria, devido ao fato do desvio para o

vermelho, o qual concordava com algumas observações astronômicas de outras nebulosas espirais (na época ainda eram chamadas de nebulosas e não se sabia se eram outras galáxias externas à Via Láctea). Como exemplo, temos o trecho de uma carta que o astrônomo Arthur Eddington escreveu a outro astrônomo, chamado Harlow Shapley:

A hipótese de De Sitter não me atrai muito, mas ele previu essa (aparente) recessão sistemática antes que ela fosse descoberta definitivamente; e se, como eu percebi, as espirais mais distantes mostram uma maior recessão, esse é outro ponto a seu favor.  
(KRAGH, 2007, p.138)

Tal como Kragh (2007) cita, a importância histórica dos modelos de Einstein e De Sitter é devido ao fato de ter causado uma revolução na visão sobre o universo, dando origem a uma cosmologia baseada na TGR. Nela, a estrutura do universo pode ser interpretada como um único todo, a partir das equações da TGR, e não mais em espaços observados separados pelos limites das próprias observações, as quais, diga-se, ainda estavam em desenvolvimento e eram escassas naquela época:

A ideia de tratar o mundo inteiro (ou a sua idealização) em termos das equações cosmológicas de campo de Einstein constituíram uma revolução nas concepções milenares do universo. O mundo ou universo foi tradicionalmente pensado como partes dentro dos limites de observação. Agora ele se torna um todo, a totalidade dos eventos no tempo e espaço, e - mais importante - o próprio espaço-tempo. (KRAGH, 2007, p. 138)

Dessa forma, historicamente, o início da cosmologia do século XX se deu através dos modelos de Einstein e De Sitter. É importante ressaltar que, tal como Kragh (2007) cita, no início da década de 1920, existiram tentativas de construir modelos que não faziam uso da TGR para construção de modelos cosmológicos. Um exemplo é de Alfred North Whitehead, matemático e filósofo, o qual apresentou sua teoria em 1922. Arthur Eddington mostrou que, embora a teoria fosse matematicamente e conceitualmente diferente da de Einstein, ela conduzia “às mesmas previsões (da teoria einsteniana)” (KRAGH, 2007, p.138). Alguns físicos ainda tentaram abordar o modelo de Whitehead sem obter resultados e logo ela caiu no esquecimento. Em contrapartida, os modelos de Einstein e De Sitter foram difundidos na comunidade científica e serviram de base para que cosmólogos como Alexander Friedmann e Geroges Lemaître montassem seus próprios modelos, os quais se tornaram a base da cosmologia do século vigente.

## 6 METODOLOGIA

Baseados nos conhecimentos e contextos mostrados e discutidos em todos os tópicos anteriores, resolvemos elaborar um livro didático sobre cosmologia moderna para professores do ensino médio. Soares (2002) o define como um importante integrante do processo de aprendizado, que além de transferir o conhecimento oral para a linguagem escrita, também é um instrumento pedagógico que dá acesso à cultura e aos conhecimentos específicos diversos, atuando, também, na formação política e social do sujeito. O livro também é um meio de expansão de conhecimentos e saberes, assim como, de atualização dos mesmos:

Hoje, o livro didático ampliou sua função precípua. Além de transferir os conhecimentos orais à linguagem escrita, tornou-se um instrumento pedagógico que possibilita o processo de intelectualização e contribui para a formação social e política do indivíduo. O livro instrui, informa, diverte, mas, acima de tudo, prepara para a liberdade [...] O professor tem em mãos uma preciosa ferramenta, que complementa seus conhecimentos, expande sua cultura e funciona como instrumento de atualização. (SOARES, 2009)

Para a elaboração do livro foi adotada a pesquisa bibliográfica (MARCONI; LAKATOS, 1992) como recurso de levantamento dos conhecimentos, informações e dados a respeito do tema escolhido (cosmologia moderna). A finalidade da pesquisa bibliográfica foi para promover uma aproximação do material escrito sobre o tema de forma a expandir os conhecimentos dos pesquisadores, fixá-los e aprender novos conceitos, revisá-los, atualizar informações e corrigir possíveis erros conceituais adquiridos durante a formação anterior. Como material de consulta foram utilizados livros, artigos, revistas e apostilas. A pesquisa bibliográfica não se limitou à fase anterior à escrita do livro, pois esteve presente durante toda a elaboração e ainda perdurou após a sua finalização e revisão, o que promoveu o acréscimo de informações atualizadas e correção/revisão no material.

Segundo Koller, de Paula Couto e Von Hohendorff (2014) uma das melhores maneiras de compartilhar conhecimento científico com profissionais que não estão inseridos no mundo acadêmico é por meio do livro. Segundo os autores, muitos desses profissionais, inclusive os que trabalham em escolas, buscam se atualizar na teoria e na prática através deste tipo de publicação. Dessa forma, “livros organizados a partir de temáticas específicas podem representar um veículo de formação importante para profissionais que atuam em diferentes áreas” (KOLLER; PAULA COUTO; VON HOHENDORFF, 2014, p.99). Ao se

organizar um livro com esta finalidade é importante responder algumas perguntas que ajudam a organizar a sua elaboração. A primeira é “Qual é o tema do livro que se pretende publicar?”. Neste caso, a resposta para o presente projeto é um livro sobre cosmologia moderna voltado para professores de ensino médio.

Este projeto possui dois diferenciais, um é de ser destinado a professores, e o outro é o de possuir atividades práticas, referentes ao assunto abordado, ao final de cada capítulo. De que forma esse livro pode contribuir para o avanço do conhecimento teórico, metodológico e prático de um campo do conhecimento científico? O livro poderá contribuir para o quadro da educação científica nacional de ensino médio, uma vez que pretende também fomentar o ensino de ciências através da inserção de um tema relativamente novo a essa modalidade de ensino. Qual é o público alvo? O público-alvo são professores do ensino médio atuantes que possam utilizar o livro diretamente dentro da sala de aula.

Tendo respondido a estas perguntas, passa-se agora para a discussão dos resultados obtidos na elaboração de um livro didático sobre cosmologia moderna para professores do ensino médio.

## **7 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **7.1 O livro “Cosmologia para o ensino médio – questionando e conhecendo um pouco sobre o Universo”**

O livro desenvolvido se encontra no apêndice deste texto, no entanto, recomenda-se primeiramente a leitura desta discussão. Ele possui 120 páginas, divididas em 9 capítulos. Em cada capítulo temos os textos teóricos, figuras, diagramas, desenhos autorais, indicações de filmes, documentários e outros materiais adicionais, assim como observações e sugestões ao professor, exercícios e práticas referentes ao assunto tratado naquele capítulo. Como mostra Skolimoski (2014) um dos principais fatores que contribuem para a não inserção da cosmologia no ensino de ciências de escolas públicas é a falta de formação dos professores no tema e também a falta de disponibilidade de tempo/aulas para preparar e desenvolver tais atividades. Dessa forma, contribuir com um livro didático, sucinto, que sirva para o aprendizado e formação de professores, baseado em conceitos importantes da cosmologia moderna, pode ser uma maneira de contribuir com uma solução para o problema. Longe de supor que apenas um livro didático é a solução única e definitiva para uma questão complexa

como essa, envolvendo vários fatores, tal como Skolimoski (2014) exemplifica, como a carga horária exaustiva que professores devem se submeter por dignidade econômica, um livro didático é uma maneira de compartilhar conhecimentos e contribuir para que, pelo menos, a questão do acesso à informação seja atenuada. Soares (2009) já discute sobre a função do livro didático e a oportunidade de aprender, expandir conhecimentos e manter-se atualizado intelectualmente através deste tipo de material. Fróes (2014) é um exemplo de autor que faz a sua contribuição, ao compartilhar seus conhecimentos em forma de um texto, porém deixa explícito que seu material é justamente um texto básico, de caráter predominantemente histórico, envolvendo astronomia, astrofísica e cosmologia, e que necessitará de preparação prévia e pesquisa adicional por parte do professor para que possa aprender e preparar sua aula. Em relação a isso, o presente livro que desenvolvemos vai um pouco além, pois foca no assunto de cosmologia e, ainda assim, na cosmologia moderna (1917 - atualmente), ou seja, tem um tema delimitado e específico. Ele foi estruturado como um curso básico em cosmologia moderna para o ensino médio, com aspectos históricos e técnicos, onde o professor estará em contato com conhecimentos suficientes para que possa inserir o assunto em sala de aula. Outro ponto a considerar é que ele foi escrito de uma maneira que o professor possa trabalhar diretamente o texto, se assim desejar, com seus alunos. Ou seja, o texto serve ao seu aprendizado e também já constitui material preparado para a aula. Pensamos o livro assim, especialmente, para aquele professor que não tem muita disponibilidade de tempo para aprender/estudar um tema e ainda montar uma aula sobre ele. Contudo, o livro contém sugestões de outras fontes e recursos, tais como documentários, livros e outros, caso o professor possa e queira implementar mais a sua aula. O fato é que, em um caso extremo, onde aquele professor que quer trabalhar o assunto de cosmologia com sua turma, mas está tão atarefado e impedido de ter tempo para esta dedicação, conseguirá fazê-lo uma vez que tem um material para seu aprendizado e ao mesmo tempo uma estrutura de aula para já trabalhar com seus alunos. Para exemplificar, façamos um exercício de reflexão utilizando um experimento mental. Imagine um professor já excessivamente atarefado, sobrecarregado com o cumprimento de currículo, sem conhecimentos prévios de cosmologia, mas que se interessou pelo tema e deseja trabalhá-lo com sua turma. Pense no tempo que ele terá que dedicar somente indo atrás das fontes, pesquisando autores e materiais sobre cosmologia, muitas vezes se deparando com linguagens e assuntos mais avançados do que um curso de ensino médio prevê, informações erradas ou desatualizadas, e, assim, terá que dispor de mais tempo em selecionar o que poderá ser ensinado e, até mesmo, adaptar a uma linguagem acessível, se esse for o caso. Somando isso ao tempo natural que ele terá que

dispor para aprender e montar aula(s) sobre o conteúdo, as chances desse processo não acontecer ou, caso aconteça, ser realizado de uma maneira inadequada são significativas. Imagine agora como seria um cenário em que o mesmo professor, no início da sua empreitada, se depara com um material específico, voltado para o ensino médio, sobre cosmologia, incluindo propostas prontas de atividades para serem desenvolvidas com os alunos. O que podemos afirmar é que muito do tempo que ele precisaria somente para ir atrás e reunir informações confiáveis, para então começar o seu processo de aprendizagem, teria grandes chances de ser efetivamente reduzido, uma vez que ele tem em mãos um curso completo sobre cosmologia voltado para o seu propósito educacional. Somando-se ao fato de que o próprio texto pode ser trabalhado com os alunos, seria correto admitir que uma parcela grande de tempo seria poupada para professores já bastante requisitados pelo cotidiano que a educação brasileira cobra, tal como evidencia Skolimoski (2014), e as chances de que a cosmologia seja inserida na sala de aula aumentariam.

Atentando para o que já discutimos aqui nos trabalhos de Moreira (2015) e Mendonça (2018) sobre a Aprendizagem Significativa, apoiada nos conceitos de David Ausubel de subçunsores (conhecimentos prévios), também utilizamos tais considerações na estrutura do livro. Assim, não o iniciamos já falando de cosmologia propriamente, uma vez que levamos em consideração que muitos dos possíveis leitores não estejam familiarizados com essa ciência. Aliás, como vimos nos trabalhos de Gouw (2013) e Massarani *et al.* (2019) existem problemas significativos do jovem brasileiro (em idade escolar ou não) em relação aos seus conceitos sobre ciência e seus métodos (embora o livro seja escrito primeiramente pensando no professor, o objetivo final é o aluno, uma vez que o tema será trabalhado junto a eles). Dessa forma, os cinco primeiros capítulos do livro não tratam diretamente de cosmologia, mas de assuntos que serão importantes para o seu aprendizado e contextualização. Ao iniciar o livro, nos dedicamos, primeiramente, a falar sobre alguns conceitos de ciência em geral, como o método científico, segundo a concepção de Hewitt (2011) e contar algumas histórias de cientistas, como a de Ian Fleming e a descoberta da penicilina. Isto porque a cosmologia moderna é uma ciência, então, promover uma discussão inicial sobre ela é uma maneira de contextualizar e iniciar um tema científico, seja ele novo para o aprendiz ou não. O segundo capítulo é sobre cosmologias de alguns povos antigos, e tem a intenção de mostrar o quão antigo é o interesse do homem pelo universo e suas origens. Este capítulo tem potencial para que também professores de disciplinas como geografia e história possam trabalhar junto aos de ciências, uma vez que os assuntos se relacionam. Essas observações, inclusive, estão no próprio texto, de maneira a auxiliar o professor. O capítulo três é um pequeno resumo sobre a

cosmologia/astronomia da época de Newton até os estudos de Einstein sobre a TGR. Os capítulos quatro e cinco são referentes à Teoria Geral e Restrita da Relatividade e Teoria Quântica, sendo imprescindíveis para o entendimento da cosmologia moderna. Feita toda esta contextualização e introdução de conceitos básicos e históricos só então partimos diretamente para o assunto cosmologia moderna, de forma que o professor e os alunos não fiquem “perdidos” ou descontextualizados, sendo o seu aprendizado sem sentido e não significativo.

As obras fundamentais que nos baseamos em nossa pesquisa bibliográfica para desenvolver o livro foram: “Uma Breve História do Tempo” (HAWKING, 2015), “Introduction to Cosmology” (ROSS, 2003), “Hubble: a Expansão do Universo” (DAMINELI, 2003), “Depois do Big Bang” (SOTO, 2016), “Física Conceitual” (Hewitt, 2011) e os artigos “Estimando Parâmetros Cosmológicos a partir de dados observacionais” (SILVA-NETO, 2018) e “Astronomia, Astrofísica e Cosmologia para o Ensino Médio” (FROÉS, 2014). Outras obras e artigos foram consultadas pontualmente em assuntos específicos e são citadas durante o texto.

Em Hawking (2015) temos um dos livros de divulgação científica sobre Cosmologia mais conhecidos pelo mundo. Os capítulos “Nossa imagem do Universo” e “Espaço e Tempo” foram cruciais para o desenvolvimento, respectivamente, dos assuntos sobre cosmologia geral/histórica e Teoria Especial e Geral da Relatividade. O livro de Hawking é um condensado de conceitos sobre as principais teorias, no qual ele conta os fatos históricos, algumas discussões filosóficas e a parte conceitual de cada uma. Nos serviu como uma espécie de “carro chefe” para delinear os assuntos que gostaríamos de abordar e procurar outras fontes para maior aprofundamento, visto que é uma obra que trata resumidamente, embora com muitos detalhes, sobre alguns temas de Cosmologia. Os capítulos “Buracos Negros” e “Buracos Negros não são tão negros assim” também tiveram importância significativa para o desenvolvimento do trabalho pela maneira detalhada como foram escritos (diga-se de passagem, o quão especialista no assunto era Stephen Hawking).

O livro de Ross (2003) se constituiu como material de estudo, visto que foi escrito para o ensino superior. A matemática utilizada requer apenas o domínio de cálculo diferencial e integral, sendo um livro de nível intermediário para aprender os fundamentos da cosmologia. Paralelamente a ele, “Física Conceitual” de Paul Hewitt (2011) e os artigos de Froés (2014) e Silva-Neto (2018) complementaram os estudos. A obra de Hewitt é um livro de Física, cuja ênfase está na parte conceitual da disciplina. Os dois capítulos sobre a Relatividade de Einstein e outro sobre Teoria Quântica influenciaram significativamente no

desenvolvimento desses temas no nosso trabalho, visto a linguagem clara já destinada ao público do ensino médio, tornando nossa tarefa de escrever mais simples. O capítulo inicial “Sobre Ciência” nos foi útil para a escrita do nosso primeiro capítulo “Uma conversa sobre Ciência”, trazendo uma interessante discussão sobre método científico e as relações entre arte, ciência e religião, introduzindo uma visão crítica e abrangente desses temas. A leitura de Fróes (2014) contribui, principalmente, com dados históricos da cosmologia moderna, visto que é essa a abordagem que ele confere a seu texto, com muitos detalhes sobre acontecimentos das décadas de 1940, 50 e 60. O artigo de pesquisa de Silva-Neto (2018) nos foi complementar para os estudos do livro de Ross em relação, principalmente, aos conceitos da expansão do Universo. O livro “Hubble: a expansão do Universo”, escrito pelo astrônomo brasileiro e professor do IAG-USP Augusto Damineli, foi uma excelente (e surpreendente) fonte de pesquisa, não só sobre fatos e curiosidades da vida de Edwin Hubble mas de todo o período compreendido entre as décadas de 1910 a meados 1940, sobretudo em relação ao desenrolar da história da expansão do Universo. Por fim, Kragh (2007) é uma obra que consideramos obrigatória para aqueles que desejam se aprofundar na história da Cosmologia, desde os seus primórdios com as civilizações antigas como babilônios e chineses até a cosmologia moderna. Sua leitura foi fundamental principalmente no capítulo que dedicamos a falar sobre algumas cosmologias de povos antigos. Ao final de cada capítulo do livro, estão organizadas e indicadas as referências utilizadas.

Relembramos que o livro foi escrito de forma que o professor possa trabalhar o texto diretamente com seus alunos. Apenas o capítulo de título “A expansão do Universo” não foi adequado dessa maneira, sendo a sua leitura indicada para que os professores preparem a sua aula e/ou que a leitura seja feita junto com os alunos. Ao início de cada capítulo, colocamos comentários resumindo sobre do que se trata aquele texto e dicas do que pensamos ser essencial trabalhar com os alunos, ressaltando que elas são sugestões, ficando a cargo do leitor a sua escolha. Ao final de cada capítulo, adicionamos atividades práticas relacionadas ao assunto do mesmo. Temos “Perguntas de Fixação”, que têm o objetivo de entender como os alunos interpretaram os conhecimentos trabalhados naquele capítulo. Na maioria das perguntas, utilizamos um artifício de “fazer o aluno assumir o papel similar ao de um professor” e explicar, através de uma mensagem, o que ele aprendeu naquela aula para um avô, avó ou qualquer pessoa mais próxima a ele e que não tenha familiaridade com o assunto. Adaptamos essa estratégia de um exercício contido em Hewitt (2011, p.651), na seção “Projeto”, onde o autor pede ao leitor que “escreva à sua avó” contando sobre o que é a Teoria Especial da Relatividade. Dessa forma, estimulamos o entendimento do assunto sem

recorrer às “decorebas”, de uma maneira não convencional, como apenas a execução de exercícios e aplicações de fórmulas, tal como criticado por Froés (2014). Também inserimos guias com atividades práticas ao final dos capítulos, sendo que o professor pode desenvolvê-las com suas turmas, como maneira de enriquecer as aulas e ajudar a criar um entendimento mais amplo dos conceitos, estimulando a criatividade. As atividades experimentais visam complementar todo o processo de aprendizado e instigar a capacidade investigativa e curiosidade dos alunos. Também possuem a função de inseri-los em processos práticos envolvendo o método científico, exercitando as habilidades de observação, a proposta de hipóteses, seus testes e a elaboração de teorias. Segundo a Base Nacional Comum Curricular de 2018 (BRASIL, 2018), a qual orienta e define habilidades, assuntos e competências a serem trabalhadas com todos os alunos do território nacional, uma das dez competências básicas a serem desenvolvidas na Educação Básica é:

Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e inventar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas. (BRASIL, 2018, p.9)

Dessa forma, nossas atividades práticas, inseridas no final de cada capítulo, têm essa finalidade. Outro ponto que devemos mencionar referente ao desenvolvimento do material foi que colocamos à disposição do leitor, seja ele o professor ou professora e o estudante (juntos), inúmeras sugestões para que seu aprendizado não fique restrito ao livro, tais como indicações de filmes, documentários, biografias dos cientistas e de outros livros.

A divisão dos capítulos e assuntos foi feita da seguinte maneira:

- Uma conversa sobre Ciência – Capítulo introdutório com discussão sobre algumas características da Ciência tais como os conceitos de observação, fato, teoria e experimento segundo a descrição de Hewitt (2011). Ao longo dele, existem pequenas biografias de alguns cientistas como Albert Einstein, Richard Feynman e Alexander Fleming, sendo que a história desse último, com a descoberta da penicilina, recebe destaque por podermos demonstrar através dela como a Ciência pode ser surpreendente e não seguir estritamente um caminho convencional. Realizamos também uma discussão sobre as relações entre arte, religião e ciência, de forma a valorizar essas três manifestações da existência humana.
- Cosmologia histórica – breve capítulo mostrando como a cosmologia é uma das manifestações mais antigas da humanidade na busca do entendimento sobre o Universo. Uma

breve discussão para esclarecer o que de fato é a cosmologia, pequena biografia de Stephen Hawking, um dos cosmólogos mais famosos da história, e descrições sobre a cosmologia dos Caiapós, como forma de valorização da cultura brasileira, cosmologia egípcia e mesopotâmica.

- Afinal, como é o Universo? Como sabemos o que sabemos? – Capítulo sobre como o que sabemos hoje em relação ao Universo não vem por acaso, mas é fruto de observações e estudos que perduraram por séculos, passando por criteriosos testes, algumas vezes tentativas e erros, desmistificando a visão ingênua da ciência e valorizando uma visão crítica. Citamos um pouco da história de Isaac Newton e breves resumos da Relatividade de Einstein e a Teoria Quântica.
- Teoria Especial e Geral da Relatividade para jovens – trata das duas teorias de Einstein com os conceitos de relatividade, simultaneidade, dilatação do tempo, contração dos comprimentos, espaço-tempo, entre outros. Fizemos uso de álgebra básica para explicar os conceitos. Colocamos e explicamos resumidamente a equação de Einstein para aqueles que sintam curiosidade em entendê-la.
- Teoria Quântica para jovens – trabalhamos conceitos como a natureza corpuscular e ondulatória da luz, efeito fotoelétrico, experimento da dupla fenda, Princípio da Incerteza de Heisenberg, constante de Planck entre outros. Colocamos também pequenas biografias de Werner Heisenberg e Max Planck.
- A expansão do universo, um puxador de mulas e um atleta – uma grande história científica do século XX – capítulo escrito para consulta dos professores, por estar em forma de artigo científico. Porém, não há impecilhos que a leitura seja feita também com os estudantes, de forma a inseri-los na linguagem e formalidade acadêmica e isto está indicado no capítulo. Ele traz a história e os conceitos principais sobre a expansão do Universo, incluindo passagens com Edwin Hubble, Milton Humason, Henrieta Leavitt, Vesto Slipher, entre outros.
- A história térmica do Universo: do Big Bang até hoje – tratamos sobre a teoria do Big Bang e suas evidências observacionais, como a radiação cósmica de fundo. A origem das partículas e elementos também é discutida.
- Buracos Negros, carecas ou cabeludos? – capítulo trazendo os buracos negros com seu fascinante comportamento. A alusão aos “carecas ou cabeludos” serve para despertar curiosidade e são explicadas no decorrer do texto. Também tratamos da primeira imagem

real de um buraco negro divulgada em 2019.

- A matéria escura – nesse capítulo é abordado o assunto sobre a matéria escura, um dos quais está situado nos limites do conhecimento humano dado o estágio que as pesquisas ainda estão. Tratamos também da teoria alternativa à da matéria escura, como forma de suscitar o debate crítico da Ciência. A história de Vera Rubin, uma das principais cientistas envolvidas nos estudos da matéria escura, também é tratada. Por fim, decidimos encerrar esse capítulo com um resumo sobre o Modelo Cosmológico Padrão e as principais conclusões que hoje a Ciência tem em relação à composição do Universo.

Os temas foram dispostos de uma maneira que não se tornassem uma sequência muito extensa, caso o professor deseje trabalhar todos eles. Essa foi uma forma de tentar atender a um dos principais problemas encontrados por Skolimoski (2014) tal como discutido aqui sobre a alegação dos professores em relação à falta de tempo e aulas para desenvolver quaisquer atividades extras. No entanto, não deixamos de colocar todos os assuntos que julgamos necessários ao entendimento introdutório da cosmologia moderna. Depois destas breves colocações, o leitor deve partir para a leitura do livro “Cosmologia Moderna para o ensino médio”, que se encontra no Apêndice.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de cosmologia na educação básica brasileira ainda é recente. Embora recomendado, na maioria das vezes, indiretamente pelos PCN's, através da análise de trabalhos e propostas que fizemos ao longo deste trabalho, percebemos que a sua inserção em sala de aula ficou significativa nos últimos 15 anos. Como também vimos, sendo a cosmologia uma ciência que visa estudar a origem, estrutura atual e destino do universo, como é possível deixar ela de fora das aulas de ciências se somos todos seres vivos dentro deste mesmo universo? Como negar ao jovem brasileiro, o qual tem uma relação contraditória com a ciência, tal qual analisamos nos trabalhos de Gouw (2013) e Massarani *et al.* (2019) uma oportunidade de entrar em contato com estes tipos de questionamentos do ponto de vista científico? Como também nos mostrou Skolimoski (2014) existem questões profundas que impedem a inserção da cosmologia no ambiente escolar, dentre elas, significativamente, se apresentam a falta de formação dos professores de ciências neste tema e também as pesadas cargas horárias de trabalho e currículo que os mesmos devem enfrentar, impossibilitando não só que a cosmologia seja inserida, mas qualquer outro tema extra curricular. Como tentar ajudar a resolver tal cenário? A solução que propusemos aqui foi a elaboração de um livro sobre a cosmologia moderna que, ao mesmo tempo, fosse completo o suficiente para dar segurança intelectual ao professor que deseja estudar tal assunto, também fosse sucinto e prático para ser adaptado em situações de pouca disponibilidade de tempo. Inserimos, como diferencial, exercícios e práticas referentes aos assuntos de cada capítulo para aumentar ainda mais o leque de possibilidades dos professores que fizerem uso do material. A escrita permite a leitura conjunta aluno/professor, de forma que essa característica também pode ajudar aqueles professores com carga horária apertada.

Em uma concepção mais ampla, a elaboração deste livro serve a propósitos de colaborar com o fortalecimento e desenvolvimento do ensino de ciências no nosso país. Tal como discutimos sobre o trabalho de Cachapuz (2012), é um compromisso social e científico ultrapassar as barreiras do mundo acadêmico e compartilhar o conhecimento com a sociedade. Não é uma crítica ao trabalho que se volta diretamente ao mundo acadêmico, mas um incentivo a que existam iniciativas para a socialização do conhecimento, principalmente as

relacionadas à educação. Assim, este livro é também uma iniciativa que caminha nesta direção, de compartilhar o que produzimos dentro da universidade para o mundo exterior. Para que o que idealizamos de fato como uma educação de qualidade, democrática e significativa para nossos estudantes e professores possa se concretizar.

## REFERÊNCIAS

- ABBAGNANO, Nicola. **Dicionário de filosofia**. São Paulo: Martins Fontes, 1998.
- AGUIAR, Ricardo Rechi. **Tópicos de astrofísica e cosmologia: Uma aplicação de física moderna e contemporânea no ensino médio**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 2010.
- AGUIAR, Ricardo Rechi; HOSOUME, Yassuko. Tópicos de Astronomia, Astrofísica e Cosmologia na 1ª série do ensino médio como parte integrante de um projeto curricular diferenciado de Física. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, São Carlos- SP, n. 25, p. 51-70, 2018.
- ARAÚJO, K. M. G.; VIEIRA, L. A.; LUNA, E. M.; SILVA-NOBRE, F. A. Produção de Histórias em Quadrinhos: Uma estratégia criativa para abordagem do conteúdo de Cosmologia. In: Semana de Iniciação Científica da Universidade Regional do Cariri (URCA), 21, 2018, Cariri-CE. **Anais**.
- AZEVEDO M.C.P.S.; Ensino por Investigação: Problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A.M.P. (org.), **Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p.19-33.
- BAGDONAS, Alexandre. **Controvérsias sobre a natureza da ciência como enfoque curricular para o ensino de física: o ensino de história da cosmologia por meio de um jogo didático**. 2015. Tese (Doutorado em Ensino de Física) – Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, 2015.
- BARBARA, Ryden. **Introduction to Cosmology**. Ohio: Addison-Wesley Professional, 2003.
- BELTRÃO, R. P. L. *et al.* Perigo do movimento antivacina: análise epidemio-literária do movimento antivacinação no Brasil. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 12, n. 6, p.1-8, 2020.
- BRASIL, Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: MEC, 1997.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2000.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2002.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.
- \_\_\_\_\_, Mario. **Pseudociência e ideologia**. Madrid: Alianza, 1985.
- BUNGE, Mario. **Epistemología: curso de actualización**. Buenos Aires-Argentina: Siglo xxi, 2002.
- \_\_\_\_\_, Mario. **Física e Filosofia**. 1 ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 2019.

CACHAPUZ, António. Do ensino das ciências: seis ideias que aprendi. *In*: CARVALHO, A. M. P.; CACHAPUZ, A.; GIL-PEREZ, D. **O ensino das ciências como compromisso científico e social: os caminhos que percorremos**. São Paulo: Editora Cortez, 2012. p.11-32.

CARNIELLI, W. A.; EPSTEIN, R. L. **Pensamento crítico: o poder da lógica e da argumentação**. São Paulo: Rideel, 2011.

CASSELL, Catherine. **Qualitative methods in organizational research: A practical guide**. London: Sage Publications Ltd, 1994.

CHRISPINO, Alvaro; MELO, Thiago Brañas de; ALBUQUERQUE, Márcia Bengio de. O crescimento da anticiência na Pandemia: Um quadro de luz e sombra. **Educación Química**, v. 31, n. 5, p. 162-168, 2020.

DALFOVO, Michael Samir; LANA, Rogério Adilson; SILVEIRA, Amélia. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. **Revista interdisciplinar científica aplicada**, v. 2, n. 3, p. 1-13, 2008.

EINSTEIN, Albert. **On the Influence of Gravitation on the Propagation of Light**. *Annalen der Physik*, v. 35, n. 898-908, p. 906, 1911.

\_\_\_\_\_, Albert; GROSSMANN, Marcel. **Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation**. BG Teubner, 1913.

\_\_\_\_\_, Albert. Cosmological considerations on the general relativity theory. **Preussisch Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte**, p. 142, 1917.

FERREIRA, Elvis Camilo. **Inclusão de astrofísica e cosmologia no ensino médio: uma motivação ao estudo de ciências**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, 2011.

FETTER, Giselle Liana. Discurso anticientífico e Covid-19: tensões entre política e jornalismo. **Macabéa-Revista Eletrônica do Netlli**, v. 9, n. 4, p. 562-584, 2020.

FREIRE, Paulo. **Extensão ou Comunicação?**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1983.

\_\_\_\_\_, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 17 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

\_\_\_\_\_, Paulo. **Educação como prática da liberdade**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2014.

FRÓES, André Luís Delvas. Astronomia, astrofísica e cosmologia para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 1-15, 2014.

GODOY, Arlida Schmidt. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de administração de empresas**, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995.

GOUW, Ana Maria Santos. **As opiniões, interesses e atitudes dos jovens brasileiros frente à ciência: uma avaliação em âmbito nacional**. 2013. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

GRACIA, G. B. A física na visão de Ernst Mach: De uma crítica a Newton às teorias gravitacionais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 3, p. 1-10, 2019.

GUILLE, D. O que distingue a economia do conhecimento? Implicações para a educação.

**Cadernos de Pesquisa**, v.38, n135, set. /dez. 2008, p.611-636. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/cp/v38n135/v38n135a04.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2020.

GUTTMANN, Gustavo Antonio Montenegro; BRAGA, Marco. A origem do universo como tema para discutir a Natureza da Ciência no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 442-460, 2015.

HAWKING, S. W.; ELLIS, G. F. R. **The large scale structure of space-time**. Cambridge-UK: Cambridge university press, 1973.

\_\_\_\_\_, S. W. **Uma breve história do tempo**. Rio de Janeiro: Editora Intrínseca, 2015.

HEWITT, P. **Física Conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2011.

JARDIM, Wagner; GUERRA, Andreia. Minicurso de cosmologia na formação de professores; dificuldades na ampliação de propostas para o ensino médio. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, n. Extra, p. 1794-1798, 2013.

KOLLER, S. H.; PAULA COUTO, M. C. P.; VON HOHENDORFF, J. **Manual de produção científica**. Porto Alegre: Penso Editora, 2014.

KRAGH, H. S. **Conceptions of cosmos: from myths to the accelerating universe: a history of cosmology**. Oxford University Press, 2007.

\_\_\_\_\_, H. S. **Cosmologia e Ensino de Ciências: Problemas e Promessas**. Tradução de M. Romero, **Curso de Filosofia da Universidade de São Paulo**, 2015.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do Trabalho Científico**. São Paulo: Atlas, 1992.

LAVAL, Christian. **A escola não é uma empresa: o neoliberalismo em ataque ao ensino público**. São Paulo: Boitempo Editorial, 2019.

MELO, Helena Sousa Gauss: o príncipe da Matemática. Correio dos Açores (**Jornal ou Revista**), Ponta Delgada - Portugal, Gráfica Açoreana, Lda, 2015, p. 14. Disponível em: [https://repositorio.uac.pt/bitstream/10400.3/3575/1/Gauss\\_o%20principe%20da%20matematica.pdf](https://repositorio.uac.pt/bitstream/10400.3/3575/1/Gauss_o%20principe%20da%20matematica.pdf). Acesso em: 16 out. 2021.

MENDONÇA, M. O. **Proposta de construção de uma sequência didática abordando tópicos de cosmologia no ensino médio**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física), Universidade de Brasília, Brasília. 2018.

MINAYO, M. C. S.; SANCHES, Odécio. Quantitativo-qualitativo: oposição ou complementaridade?. **Cadernos de saúde pública**, v. 9, n. 3, p. 237-248, 1993.

MOREIRA, Marco Antonio. Unidades de enseñanza potencialmente significativas—UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011.

\_\_\_\_\_, Marco Antônio. **Teorias de aprendizagem**. 2. ed., ampl. São Paulo: EPU, 2015.

NASSARALLA, Anna Paula Amaral *et al.* Dimensões e consequências do movimento antivacina na realidade brasileira. **Revista educação em Saúde**, v. 7, n. 1, 2019.

NETO, Otávio Cruz. O trabalho de campo como descoberta e criação. *In*: MINAYO,

Maria Cecília de Souza (org.). **Pesquisa Social. Teoria, método e criatividade**. 18. ed. Petrópolis: Vozes, 2001. p. 51-66.

NOBRE-SILVA, Nara Alinne; ARRAIS, Antonia Adriana Mota. Os discursos políticos em relação à COVID-19 e a emergência por uma alfabetização científico-tecnológica: encontros e desencontros no cenário brasileiro. **Revista Práxis**, v. 12, n. 1 (sup), 2020.

PEEBLES, Phillip James Edwin. **Principles of physical cosmology**. Nova Jersey: Princeton university press, 1993.

RAMOS, Flávia Regina Oliveira; HEINSFELD, Bruna Damiana de Sá Solón. Reforma do ensino médio de 2017 (Lei nº 13.415/2017): um estímulo à visão utilitarista do conhecimento. In: **CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO**. 2017. p. 18284-18300.

ROSE. **ROSE – International Partners**. 2012. Disponível em <[https://roseproject.no/?page\\_id=34](https://roseproject.no/?page_id=34)> Acesso em 25 jun. 2019.

ROSENFELD, Rogério. A cosmologia. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, p. 31-37, 2005.

ROSS, Matts. **Introduction to Cosmology**. England: John Wiley & Sons LTDA, 2003.

RYDEN, Barbara. **Introduction to cosmology**. Cambridge University Press, 2017.

SAGAN, Carl. Why we need to understand science. **Parade Magazine**, v. 10, 1989.

\_\_\_\_\_, Carl. **O mundo assombrado por demônios: a ciência vista como uma vela na escuridão**. São Paulo: Editora Cia das Letras, 1996.

SEFERIN, Ádila Motta Leite; ALVARENGA, Flávio Gimenes; AMBRÓZIO, Rosa Maria. Tópicos de Cosmologia no Ensino Médio: uma abordagem a partir de atividades investigativas. In: **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2015**.

SILVA, Emanuel Freitas; SILVEIRA, Emerson Sena. A pandemia de COVID-19 sob a benção de bolsonaro e evangélicos. **Revista Inter-Legere**, v. 3, n. 29, p. 1-28, 2020.

SKOLIMOSKI, Kellen Nunes. **Cosmologia na teoria e na prática: possibilidades e limitações no ensino**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física, Química, Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.

SOARES, Domingos. O universo estático de Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 1-4, 2012.

SOARES, Wander. O livro didático e a educação. **Abrelivros**, 2009. Disponível em: <<https://abrelivros.org.br/site/o-livro-didatico-e-a-educacao/>>. Acesso em: 31 mai. 2021.

SOUZA REZIO, Leonardo Luiz; SILVA, Magno Luiz Medeiros. Discurso anti-ciência: a desinformação como estratégia de ataque à produção científica: DISINFORMATION AS A STRATEGY FOR ATTACKING SCIENTIFIC PRODUCTION. **Revista UFG**, v. 20, p. 1-26, 2020.

STEINBERG, R. N.; CORMIER, S.; FERNANDEZ, A. Probing student understanding of scientific thinking in the context of introductory astrophysics. **Physical Review Special Topics-Physics Education Research**, v. 5, n. 2, 2009.

TOLENTINO-NETO, L. C. B. **Os interesses e posturas dos alunos frente às ciências: resultados do Projeto ROSE aplicado no Brasil**. 2008. Tese (Doutorado em Educação), Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.

TOZINI-REIS, M. F. C. **Metodologia de Pesquisa Científica**. Curitiba: IESDE Brasil S.A, 2007.

WESTPHAL, Murilo; PINHEIRO, Thais Cristine. A epistemologia de Mario Bunge e sua contribuição para o ensino de ciências. **Ciência & educação**, v. 10, n. 3, p. 585-596, 2004.

XIMENES, Samuel Jorge Carvalho. **A Matéria Escura no ensino médio**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2016.

## APÊNDICE

Livro “Cosmologia para o ensino médio – questionando e conhecendo um pouco sobre o Universo” na íntegra.



*Cosmologia para o ensino  
médio – questionando e  
conhecendo um pouco mais  
sobre o Universo*

## Introdução

Caro professor (a),

Este livro foi feito pensando em você e nos estudantes. Levando em conta a falta de disponibilidade de tempo e aulas que muitos professores têm hoje em dia, muitas vezes causados por terem que cumprir currículos de disciplinas muito extensos, desempenhar várias tarefas extra classe e às atribuições inerentes do cotidiano da vida de todos os trabalhadores desse país, procuramos desenvolver tópicos básicos e essenciais sobre cosmologia moderna para o seu aprendizado e consulta. Tal preocupação, porém, não faz desse material incompleto e/ou superficial no que ele se propõe a discutir. Acreditamos que, fazendo uso dele, você estará muito bem preparado para levar esse tema tão importante da natureza para a sala aula.

Começamos o livro com uma discussão sobre ciência e método científico. O objetivo aqui é introduzir o assunto, apresentando uma visão que consideramos ser adequada e importante sobre a natureza desse tipo de conhecimento. Depois, preparamos um capítulo com alguns resumos sobre a visão da cosmologia do nosso Universo e alguns desenvolvimentos históricos do entendimento humano por esse assunto e alguns outros da ciência moderna. O terceiro capítulo é dedicado a falar sobre as cosmologias históricas e se constitui uma ótima oportunidade para trabalhar junto aos professores de História, Geografia e demais disciplinas relacionadas. Os capítulos 4 e 5 tratam, respectivamente, das teorias de Einstein e da Mecânica Quântica, assuntos que consideramos essenciais para o estudo de cosmologia. Enfim, o primeiro tópico específico dessa ciência começa no capítulo 5, e tratará sobre o seu nascimento assim como a descoberta da expansão do Universo. Uma atenção especial é necessária para esse capítulo, pois ele está escrito na forma de um artigo acadêmico. Dessa forma, caso vá utilizá-lo diretamente com seus alunos, você deve auxiliá-los durante o processo. Aliás, será muito interessante esse contato entre estudantes de ensino médio e a escrita acadêmica. Essa foi a intenção de escrevê-lo nesses moldes. O restante dos outros capítulos trata sobre Teoria do Big Bang, buracos negros e matéria escura.

Também desenvolvemos uma série de atividades práticas, relacionadas aos seus respectivos capítulos, as quais ser encontradas no final do livro. Além de perguntas, temos sugestões de experimentos que podem ser realizados em sala de aula com equipamentos bem simples. Inclusive, existem atividades baseadas em debates, palestras e observação do céu. Dessa forma, elas tem a intenção de enriquecer e abrir oportunidades novas para a sua aula.

## Capítulo 1

# Uma conversa sobre ciência

### *Objetivos*

*Neste capítulo apresentaremos alguns conceitos essenciais à prática de ciência. Os conceitos de observação, fatos, hipóteses, experimento e teorias estão implícitos no texto. É esperado que os alunos entendam a ciência como uma forma de investigação criteriosa da natureza, baseada na observação de fatos, elaboração e argumentação de hipóteses e validação das mesmas, através de experimentos. A capacidade de argumentação e pensamento crítico também são destacadas como essenciais.*

### **Introdução**

A ciência é algo fundamental para nós e a maneira como vivemos. Pode-se dizer que chega a ser instintivo do ser humano querer investigar e conhecer o ambiente ao seu redor. Observe um bebê e veja como ele se comporta com o que está à sua volta. Ele toca em tudo, quer pegar, presta atenção nos movimentos, examina com o tato, visão e, se não ficarmos atentos, até com o paladar! O momento em que ele descobre uma parte do seu próprio corpo, como, por exemplo, a mão, e passa horas examinando-a, apalpando e olhando fixamente para ela, num estado de profunda contemplação com a recente descoberta! A primeira mordida naquela “coisa” de cor verde, super chamativa e a revelação do gosto igualmente azedo (limão)! Experiências, agradáveis ou não, resultantes da investigação da natureza que os cerca e que vão compondo o seu repertório de conhecimentos do mundo. Quando vão ficando mais velhos e suas faculdades mentais vão se desenvolvendo, eles expandem e aprimoram suas investigações e experimentações. Através da fala, conseguem não só investigar o mundo físico próximo a eles, mas também o mundo das ideias. “Por que o dia é claro e a noite é escura?”, perguntam, “Porque tem o sol brilhando”, responde a mãe. “E por que o sol brilha?”, insistem, “Ah, porque sim!”, retruca, já sem muita paciência, inibindo toda a curiosidade da criança, a qual deveria ser estimulada através de mais perguntas e questionamentos. Nascemos com um grande instinto de curiosidade, mas, enquanto vamos crescendo, muitas vezes somos estimulados a não praticar e a inibi-la com respostas definitivas e curtas. Se torna “um incômodo” desnecessário perguntar as coisas. E é justamente a curiosidade um dos elementos mais importantes para se fazer ciência. Questionar o mundo que nos cerca, perguntar como as coisas funcionam, por que são da maneira que são, como estão organizadas, se existem padrões e muitas outras perguntas, é uma qualidade muito importante para o cientista, pois é a partir desse tipo de questionamento que somos despertados a ir em busca do desconhecido a fim de entendê-lo. E quanto mais refletimos, investigamos e conhecemos, mais saciados ficamos desse instinto que nos acompanha desde bebês, e mais lúcidos e responsáveis nos tornamos em relação ao mundo e seus elementos.

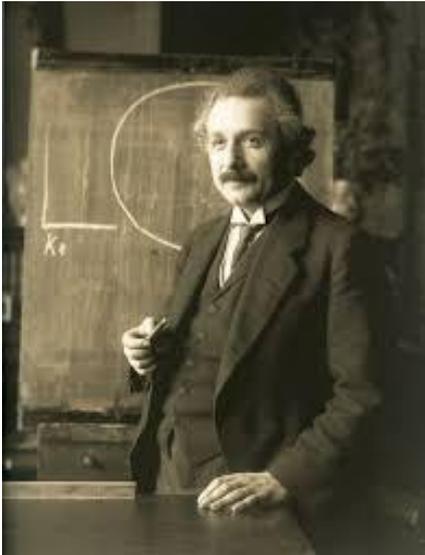
Dessa forma, dizemos que ciência é uma maneira de conhecermos a natureza e tentar explicá-la. Para fazer isso, devemos estar atentos ao método científico. Ele trata de uma série de

características comuns presentes nas pesquisas e trabalhos dos cientistas. É importante salientar que a descrição adequada do método científico não o descreve tal como “uma receita de bolo” o faria. Em vez disso, iremos nos ater nessas características que são essenciais à sua prática:

- **Reconhecer e apontar alguma questão, problema, fato ou enigma que ainda não foi explicado completamente e/ou sem solução** – essa primeira etapa é muito dependente do sobre o que refletimos no primeiro parágrafo – a curiosidade. Pessoas curiosas, que fazem perguntas o tempo todo, críticas, que se indagam sobre o mundo que as cerca e não se contentam com respostas rasas, sempre estão atentas a essas questões sem resposta, e, dessa forma, anseiam por conhecer e aprender mais. Lembre-se, essa é uma das características mais belas e importantes não só dos cientistas, mas de qualquer pessoa.
- **Propor uma solução/explicação para o tal problema/questão** – em uma linguagem mais direta, seria o equivalente a propor um palpite bem fundamentado para explicar o fato que você observou. Em outra linguagem mais formal, seria a proposta de hipótese, que nada mais é que um raciocínio bem estruturado sobre a solução do seu problema ou a explicação da sua pergunta. Como será discutido nesse mesmo capítulo mais adiante, o raciocínio lógico e capacidade argumentativa ajudam muito nessa etapa.
- **Baseado nas suas hipóteses, propor possíveis consequências que elas irão gerar** – quando você elaborou a sua hipótese, também é necessário prever as consequências que ela irá causar. Essa parte é muito importante, pois definirá se ela é ou não uma hipótese científica e de que maneira será testada para verificarmos a sua veracidade. Hipóteses científicas são aquelas que são passíveis de serem testadas e avaliadas objetivamente. Quando eu afirmo “O espaço é permeado por uma substância indetectável.”, não estou fazendo uma afirmação científica pois o conteúdo que apresento nela não pode ser verificável por nenhum teste. Já quando, por exemplo, Albert Einstein propôs a sua Teoria Geral da Relatividade, e afirmou que uma das suas previsões era que a matéria podia curvar a luz, ele estava realmente fazendo uma afirmação científica, pois ela era suscetível a ser testada e ser comprovada como verdadeira ou falsa (veremos essa história detalhadamente mais à frente). Portanto, não se esqueça que ao explicar as consequências das hipóteses que você propuser para uma questão científica, faça afirmações que poderão ser testadas quanto à sua veracidade.

**"Ciência é muito mais uma maneira de pensar do que um corpo de conhecimento"**

Carl Sagan, “ Por que precisamos entender ciência? ” (1990).



Fonte: Pixabay

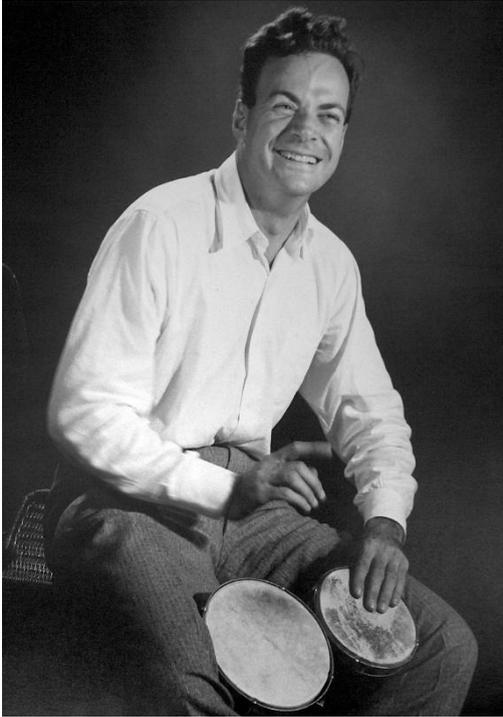
Albert Einstein (1879 – 1955) – famoso físico alemão responsável por revolucionar a física e a maneira como enxergamos o universo. Sua Teoria Geral da Relatividade redefiniu o que se entendia na época por gravidade, espaço e energia. Ganhou um prêmio Nobel de Física em 1921 pela descoberta do efeito fotoelétrico. Dava muito valor à imaginação e esforço, motivos pelos quais afirmava serem os responsáveis pelo seu sucesso.

*“A ciência, como um todo, não é nada mais do que um refinamento do pensar diário”*

*Albert Einstein*

- **Realização dos testes/cálculos/experimentos sobre as previsões** - nessa etapa, os testes devem ser realizados com todo cuidado e atenção possíveis. Todas as variáveis ou fatores envolvidos no processo devem ser conhecidos e identificados objetivamente. Não se pode permitir que ele seja realizado de uma forma descuidada e, muito menos, tendenciosa, ou seja, quem realiza o teste manipula o processo e resultados para encontrar um “resultado compatível” às suas hipóteses. Caso todos esses fatores forem respeitados e o resultado tenha sido em concordância com as previsões, as hipóteses foram validadas e serão tratadas como verdadeiras. Aqui, porém, existem duas ressalvas. A primeira é no caso de o teste ter demonstrado a falsidade das previsões. O caminho a ser adotado é ir reexaminá-las e propor outras observações, previsões e/ou hipóteses e repetir o processo. O outro caso diz respeito quando o teste validou as previsões. Isso não significa um resultado definitivo! Em ciência é necessário a prática constante da humildade e cautela, os quais dizem respeito à “atitude científica” que discutiremos mais adiante. Outros irão repetir e investigar seus testes, estudar com cuidado suas previsões e até mesmo propor novas maneiras de verificá-las. Se ocorreram erros durante o processo, eles certamente serão apontados e é necessária humildade para reconhecê-los independentemente do prestígio e fama do cientista que cometeu a falha. Em ciência, pouco importa a autoridade e interesses pessoais, mas sim o compromisso incondicional com a verdade e integridade. Já dizia outro físico muito importante (e igualmente bem-humorado) Richard Feynman “O teste de todo conhecimento é o experimento. O experimento é o único juiz da verdade científica”<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Duas observações: estamos nos referindo ao conhecimento científico, existem outras formas de conhecimento, como o artístico e o religioso, que não podem ser interpretados dessa maneira e serão brevemente discutidos nesse capítulo; mesmo dentro das ciências existem variações em relação aos tipos de experimentos como, por exemplo, as diferenças entre os experimentos realizados em sociologia e química. Devido à natureza diversa dessas ciências e seus objetos de estudo, suas experimentações também são diferentes, com metodologias específicas a cada uma (consultar o livro “Pesquisa em ciências humanas e sociais” de Antonio Chizzoti).



Fonte: HypeScience

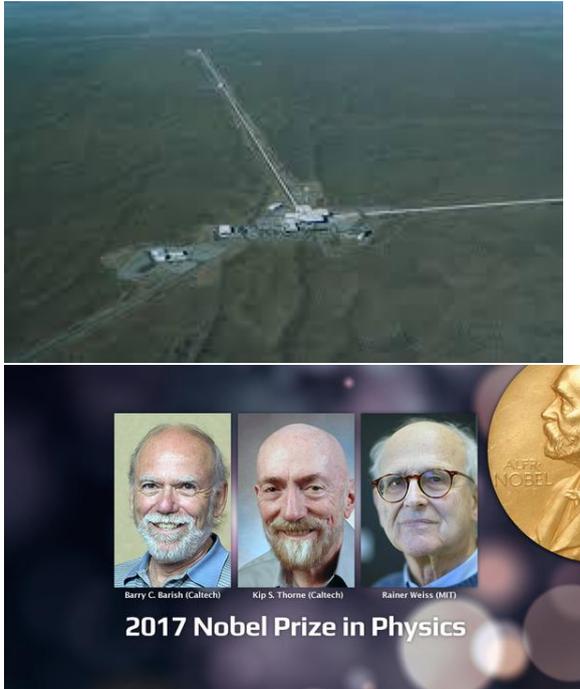
Richard P. Feynman (1918-1988) – físico norte americano que foi um dos pioneiros da eletrodinâmica quântica, a qual estuda os movimentos dos elétrons quando reagem entre si. Ganhou o prêmio Nobel de Física em 1965 pelos seus trabalhos. Era uma pessoa não convencional, não gostava de autoridade e nem burocracias. Dava muito valor a criatividade e curiosidade na formação do cientista. Tocava o bongo e falava português, pois havia passado uma temporada no Brasil.

*“A ciência é aquilo que aprendemos sobre como não deixar enganar a nós mesmos”*  
*Richard Feynman*

- **Formulação da lei/teoria final** - aqui serão reunidos os três elementos principais discutidos anteriormente: hipóteses, previsões e resultados experimentais. Normalmente, a elaboração da teoria final e, principalmente, a sua aceitação na comunidade acadêmica, demoram, pois, os processos descritos nos tópicos anteriores (testes de validação) podem levar anos para serem realizados e/ou reavaliados. Em ciência, é muito comum que as hipóteses sejam testadas exaustivamente, por diferentes grupos e repetidas vezes. Assim, se não negadas, elas se consolidam e ganham credibilidade perante à comunidade científica. Einstein, que publicou sua teoria em 1915, só veio a ter a sua segunda<sup>4</sup> constatação experimental em 1919, através de um eclipse do sol, uma história que envolveu até o Brasil (será tema de um capítulo posterior)! A terceira constatação experimental veio em 1925, através da observação do desvio gravitacional da luz provinda de algumas estrelas. Assim mesmo, esse terceiro resultado foi contestado, devido à alegação de interferências na medição, e só foi realizado satisfatoriamente para a comunidade científica em 1954 pelas medições do astrofísico Daniel Magnes Popper<sup>5</sup>. Já consolidada como fato desde o princípio da década de 20, a Teoria Geral da Relatividade ainda foi ter outra constatação experimental, aproximadamente, cem anos depois, com a detecção das ondas gravitacionais pelo projeto LIGO.

<sup>4</sup> A primeira foi a precessão na órbita de mercúrio, um problema já conhecido há tempos, mas que nenhuma teoria podia explicar. A Teoria Geral da Relatividade o solucionava.

<sup>5</sup> Treschman, Keith. (2014). Early Astronomical Tests of General Relativity: the anomalous advance in the perihelion of Mercury and gravitational redshift. Asian Journal of Physics. 23. 171-188.



Fonte: [www.skyandtelescope.org](http://www.skyandtelescope.org)

O Projeto LIGO - Laser Interferometer Gravitationalc Wave Observatory (Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser) foi fundado em 1992 e começou a operar em 2002. Os seus fundadores foram os físicos Barry Barish, Kip Thorne e Reiner Weiss. As ondas gravitacionais foram previstas pela Teoria Geral da Relatividade de 1915. No dia 14 de setembro de 2015, às 9h51, um sinal de onda gravitacional foi detectado como sendo proveniente da colisão entre 2 buracos negros com massa equivalente a 30 massas solares. Os três cientistas ganharam o Nobel de Física em 2017.

Lembrem-se que no mundo científico essas características descritas não devem ser interpretadas como uma “receita de bolo”. Elas são qualidades comuns e desejáveis nas atividades científicas. Foram muitas as pesquisas e avanços científicos que não possuíram alguma dessas etapas, foram realizados por tentativa e erro, experimentação na ausência de hipóteses ou descobertas acidentais e, no entanto, foram bem-sucedidas devido à atitude científica das pessoas que estavam envolvidas.

Em uma noite de setembro, em 1928, um médico e cientista, chegando ao seu laboratório, resolveu que era hora de se livrar de alguns itens sujos, contaminados e sem uso que estavam sobre ela. Vinha há tempos trabalhando nesse lugar, localizado no Hospital St. Mary, em Londres, pesquisando substâncias capazes de combater as infecções causadas por microrganismos em fermentos. Ele notava a grande mortalidade associada a essas infecções e seus trabalhos estavam voltados para tal causa. Em 1921, já havia descoberto as propriedades antimicrobianas da lisozima, uma substância que ele primeiro observou ao analisar colônias de bactérias semeadas em placas a partir de secreções nasais de pacientes resfriados. Depois de notar que o muco destruía a bactéria ao seu redor, ele o investigou à procura da substância que possuía o efeito desejado, encontrando o que viria a ser batizado depois como lisozima, a responsável por tal ação. Fez descobertas posteriores encontrando-a também nas lágrimas humanas e de alguns animais, como defesa natural contra microrganismos (hoje em dia, ela é, inclusive, sintetizada e adicionada no leite para a alimentação de crianças em zonas de vulnerabilidade econômica e social). Avançando para o então ano de 1928, em uma noite de setembro, ao pegar uma das placas semeadas com colônias de bactérias *Staphylococcus aureus*<sup>6</sup> para descartar, notou que elas haviam sido contaminadas por um bolor<sup>7</sup>. Ele havia

<sup>6</sup> Bactérias que podem causar infecções brandas e até mesmo mais graves como pneumonias e meningite.

<sup>7</sup> Mofo; nome dado à infecção de alguma superfície por fungos que não formam a estrutura de semelhante a cogumelos.

passado os últimos dias do feriado com a família, deixado as placas amontoadas em um canto do seu laboratório. Decidiu examiná-las com mais cuidado e viu que, ao redor do bolor, a colônia de bactéria não se desenvolvia. O cientista não ignorou esse FATO. Mostrou ao seu assistente, Merlym Price, o qual o lembrou “Foi como o senhor descobriu a lisozima”. Ele resolveu isolar aquele fungo e o identificou como do gênero *Penicillium*. Chamou inicialmente a secreção que provinha dele de “suco de mofo” e começou a testá-lo em colônias de bactérias. Constatou o caráter inibitório desse “suco” contra o desenvolvimento das colônias de bactérias. Ali estava descoberta, pelas mãos de Alexander Fleming, a penicilina – o antibiótico que revolucionou não só o mundo científico como também toda a sociedade, naquela época. De início, a comunidade científica não deu atenção à descoberta de Fleming e foi só dez anos depois, por motivos relacionados à II Guerra Mundial, que ela começou a ser desenvolvida em parceria com um laboratório e mais pesquisadores, se tornando medicamento apto para o uso em pessoas. A penicilina foi amplamente utilizada na II Guerra Mundial e salvou muitas vidas. Hoje é largamente utilizada em todo o mundo. Fleming recebeu o prêmio Nobel de Medicina em 1945, juntamente com Howard Florey e Ernst Boris Chain os quais foram os responsáveis pela produção e elaboração do medicamento final à base da penicilina.



Fonte: WikiWand

Alexander Fleming (1881 - 1955) – Nasceu em Darvel, Escócia, filho de fazendeiros. Estudou medicina em Londres, na Escola de Medicina do Hospital St. Mary. Serviu o exército durante I Guerra Mundial no posto de capitão. As experiências na guerra foram decisivas para a sua dedicação nos estudos contra microrganismos que causavam infecções em ferimentos.

*“Às vezes, encontramos o que não procuramos. Quando acordei logo após o amanhecer em 28 de setembro de 1928, certamente não planejava revolucionar toda a medicina descobrindo o primeiro antibiótico do mundo, ou o assassino de bactérias. Mas suponho que foi exatamente o que fiz”.*



### Como age um cientista?

Algumas das palavras que regem a conduta de um bom cientista (ou, pelo menos, deveriam) são: senso crítico, integridade e humildade.

Quando temos uma hipótese, princípio ou lei que afirmam algo, mas, em algum momento, outro pesquisador mostra evidências corretas, bem testadas e estudadas que as contrariam, é com humildade que devemos aceitá-las e abandonar as questões anteriores (lembrando, estamos assumindo que as novas evidências já foram testadas e se mostraram corretas). Não importa a posição social, renome, fama ou autoridade do cientista – se as suas hipóteses ou princípios forem invalidadas corretamente por apenas uma evidência negativa que seja, elas devem ser abandonadas ou ampliadas e reestruturadas. Não importa também quantas pessoas defendem tal ideia ou por quanto tempo ela existe - cinquenta anos, centenária ou milenar - pois uma simples prova contrária (testada e validada pelo método científico) é o suficiente para colocá-la em xeque.

Outra atitude que vai contra o bom comportamento dos cientistas é deixar que suas vontades, crenças pessoais ou interesses interfiram em seus resultados, com a finalidade de satisfazer seus desejos pessoais. Quando suas descobertas diferem daquilo que esperavam ou que gostariam que fossem verdade, o cientista precisa aceitá-las incondicionalmente. Essa integridade tão necessária à prática da ciência está em contato direto com a capacidade de refletirmos sobre as ideias, crenças, regras e, até mesmo, preconceitos que carregamos conosco. Muitas vezes, elas estão enraizadas há tanto tempo em nós, que não refletimos se realmente fazem algum sentido, se são válidas e, no caso dos preconceitos, o quanto são prejudiciais para vida em sociedade. Assim, mesmo quando se mostram sem razões suficientes para que ainda as adotemos, continuamos levando-as conosco e deixando que influenciem o nosso cotidiano. No caso de cientistas, torna-se um problema ainda maior pois isso os conduz, dentre muitos outros comportamentos ruins à ciência, a adotar uma postura de valorizar e dar atenção somente às ideias e hipóteses que estejam de acordo com as suas próprias. Em alguns casos, fingem considerar todas as hipóteses, positivas e negativas, mas, na verdade, analisam com mais entusiasmo o que lhes convém, e são propositalmente displicentes ao que os contraria, criando uma falsa sensação de imparcialidade. Portanto, os conceitos de honestidade intelectual e integridade são componentes diários na vida de um cientista e devem sempre serem muito respeitados em quaisquer de suas práticas.

“Não importa o quão ultrajante uma mentira possa ser, ela será aceita se declarada em voz alta o suficiente e com frequência suficiente.”

### Pensamento crítico e argumentação coerente

Quando pensamos com criticidade, estamos aptos a discernir entre a veracidade ou a falsidade de um argumento com mais chances de acertar, do que quando nos deixamos levar por pensamentos rasos e curtos. Somos o tempo todo abordados com argumentos que tentam nos persuadir a fazer algo. Igualmente, estamos o tempo todo tentando convencer e apresentar nossas ideias ao mundo e pessoas. Num debate científico, é mais que necessário fazer uso de bons argumentos, sem afirmações vagas, imprecisas e/ou morais. Quando falamos sobre moral, estamos nos referindo a um conjunto de comportamentos e posturas adotadas por um certo povo ou religião em algum momento da história. Portanto, não é correto basear um argumento em preceitos referentes a determinada moral pessoal pois ele só fará sentido para aqueles que compartilham das mesmas crenças. Um bom argumento não depende de pontos de vista ou opiniões pessoais. Eles se baseiam na discussão objetiva e clara dos fatos. “Eu acho...” “Na minha opinião...” enfraquecem o argumento em um debate, pois dão a entender que aquela ideia não é uma constatação baseada em fatos objetivos, mas algo de cunho subjetivo, referente ao autor da frase. Não podemos, no entanto, confundir isso com “não ter direito a opiniões”. Não é isso. Todos nós somos livres a pensar o que bem entendemos e emitir nossas opiniões. Sobre tudo podemos e devemos discutir, conversar e emitir pontos de vista. Mas devemos sempre ter em mente “Além do meu direito, tenho razões suficientes para pensar dessa maneira?”. Isso é ser crítico e coerente

Investigar sobre o mundo e seus elementos requer também a habilidade de questionar, argumentar com coerência e saber o momento certo em que velhas ideias, conceitos ou convicções devem ser abandonados. Os bons cientistas têm uma capacidade muito construtiva de mudar seus pontos de vista em relação a determinado assunto, perante evidências experimentais sólidas<sup>8</sup>. Para isso, é necessário saber interpretar e refletir sobre essas informações de uma forma crítica e responsável. Dessa maneira, a racionalidade é uma ferramenta presente na ciência como maneira de raciocínio e abordagem de ideias. Saber questionar racionalmente e ser sensato fazem parte do senso crítico do cientista. Muitas pessoas têm a visão de que a ciência com suas leis, teorias e modelos são imutáveis. Muitos acreditam que mudar de ideia ou convicção sobre fatos é uma fraqueza humana e sinônimo de algo negativo. Todas essas abordagens estão erradas e não agregam nada de construtivo para o processo científico. Podemos dizer, na verdade, o contrário! O fato das teorias serem algo dinâmico é uma qualidade que as torna mais fortes. O seu refinamento e aperfeiçoamento trazem confiabilidade à maneira que tentam descrever a realidade. Muito da competência do cientista se deve mais ao fato de saber aperfeiçoar progressivamente as suas ideias, quando as evidências assim o mostram, do que propriamente defendê-las.

### **Arte, religião e ciência**

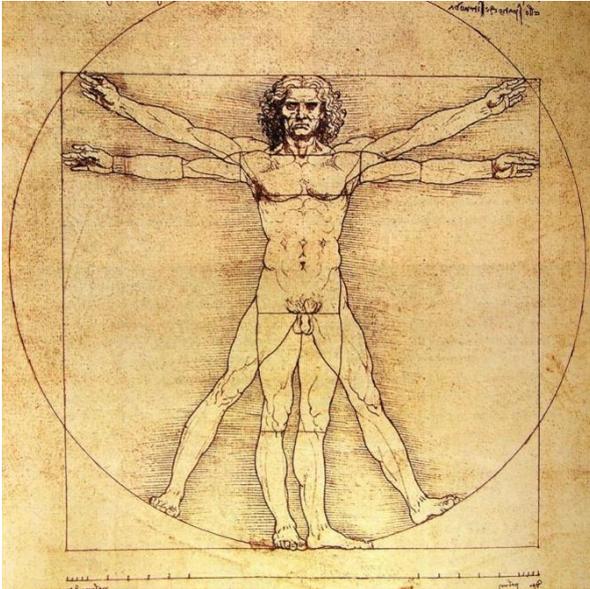
Embora muitas vezes se misturem, cada uma possui seu domínio próprio de atuação. A ciência busca conhecer e explicar os fenômenos naturais desde a mais simples reação química no menor ser vivo existente, até às leis que regem a estrutura em larga escala do universo. Nesse caminho ela passa pelo estudo de todos os seres vivos, suas ecologias e comportamentos, o domínio dos números e suas operações, os ambientes do nosso planeta com as diversas geografias, o bem-estar de animais e seres humanos, sua saúde física e mental e muitas outras subáreas. Para isso, como bem discutido nesse capítulo, ela lança mão da investigação científica para tentar encontrar padrões, formular teorias e leis que descrevam essas realidades da maneira mais correta e precisa possível.

O conhecimento artístico provém da interpretação pessoal e criatividade do artista perante o mundo e as emoções que nele mesmo se despertam ao fazer isso. Alguns artistas, como Picasso, chegavam a comparar sua arte como uma maneira científica de enxergar a natureza. Ele costumava dizer, ao ser questionado sobre os traços não-convencionais que utilizava, ao invés das recomendações dos seus professores, os quais o mandavam desenhar utilizando os conceitos das escolas clássicas, “Eu pinto o que eu vejo”, para se referir à forma criteriosa de sua observação e investigação das figuras. Dessa forma, podemos, em muitos casos, considerar a arte como concepções estéticas científicas da natureza. Um campo riquíssimo de conhecimentos gerados e técnicas empregadas por milênios, desde que os homens primitivos desenhavam em paredes e árvores e construíam pequenos utensílios, estátuas até, por exemplo, os *raps* atuais que nos fazem refletir e conhecer mais sobre nossa realidade social, política e econômica. Alguns autores desenvolvem estudos comparativos entre a arte e a ciência, como o caso de René Vidal. Em seu artigo “The Art and Science of Problem

---

<sup>8</sup> Coerentes; plausíveis; obtidas corretamente.

Solving”<sup>9</sup> (A Arte e a Ciência da resolução de problemas) ele traça as principais diferenças e similaridades entre as duas. Algumas das principais semelhanças são que, tanto artistas como cientistas, fazem uso da criatividade, experimentação, observação e abstração (refletir sobre as características e essência da existência de um objeto, ideia ou conceito) no desenvolvimento dos seus trabalhos. A prática da arte é importante para o desenvolvimento cultural e emocional das pessoas, seja praticando-a ativamente por meio das pinturas, escrevendo poemas, músicas, dançando e muitas outras modalidades ou, simplesmente, a apreciando. A arte também é uma expressão do conhecimento humano!



*“Homem Vitruviano” – Leonardo da Vinci (1490) – Arte? Ciência? Ou os dois? O Homem Vitruviano, é o desenho feito por Leonardo da Vinci representando as proporções perfeitas do corpo humano respeitando as suas simetrias. Leonardo investigou e estudou incansavelmente a anatomia humana, dissecando corpos e membros, para que suas obras fossem as mais reais possíveis.*

*“A arte diz o indizível; exprime o inexprimível, traduz o intraduzível.”*

Leonardo da Vinci

A religião é outra manifestação da existência humana. Ela se ocupa em buscar, filosoficamente, propósitos, significados, sentidos e condutas à existência do homem e de todo universo. Dessa forma, em quase todas as religiões existe o conceito de adoração, fé, ser (ou seres) supremo (s) e a estabilização de uma comunidade em volta de suas crenças e costumes. Existem conteúdos fascinantes nas mais variadas religiões e crenças do mundo, de diferentes épocas e contextos. Textos com muitas informações sobre a cultura, moralidade, rituais e que ainda hoje são importantes para o dia a dia das sociedades. Alguns problemas e atritos entre ciência e religião acontecem quando religiosos e cientistas tentam intrometer um nas atividades do outro, não respeitando as suas naturezas completamente diferentes. Existem religiosos que aceitam perfeitamente as descobertas científicas assim como cientistas que praticam a sua religião sem problema algum. O grande segredo é o respeito, bom senso e saber diferenciar os propósitos de cada um.

## Referências:

### Sobre Ciência em geral:

HEWITT, P. FÍSICA Conceitual. 12ª edição. p. 1-16 2011.

<sup>9</sup> Vidal, René. Victor Valqui. The Art and Science of Problem Solving. **Investigação Operacional**, 25 (2005) 157-178.

Vidal, René. Victor Valqui. The Art and Science of Problem Solving. *Investigação Operacional*, 25 (2005) 157-178.

**Sobre Alexander Fleming:**

PEREIRA, Ana Leonor; PITA, João Rui. Alexander Fleming (1881-1955): da descoberta da penicilina (1928) ao prémio Nobel (1945). *História: revista da Faculdade de Letras da Universidade do Porto*, v. 6, 2018.

CAPA, Nossa. Alexander Fleming e a descoberta da penicilina. *Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial*, v. 45, n. 5, 2009.

**Para conhecer mais:**

**Livros**

O mundo Assombrado pelos Demônios – Carl Sagan.

Só pode ser brincadeira, Sr. Feynman – Richard Feynman.

**Série de TV:**

Genius 2 - Pablo Picasso , do History Channel.

## Capítulo 2

# Cosmologia histórica – um olhar sobre as cosmovisões do Universo pelas culturas passadas

### *Objetivos*

*Este capítulo tem como objetivo definir e exemplificar aos alunos o que é cosmologia e como ela surgiu nas culturas dos povos antigos ao redor do mundo, onde, na maioria das vezes, se confundia com religião, e proporcionava uma visão surpreendente do Universo. A apresentação da cosmologia cultural também tem por finalidade enriquecer o conhecimento e estimular a valorização dos costumes e culturas dos povos primitivos, contribuindo para que os mesmos sejam respeitados e tenham sua importância reconhecida em seu contexto histórico na humanidade.*

*“O Cosmos é tudo o que existiu, existe ou existirá”*

*Carl Sagan*

### **O que é cosmologia?**

Quando pesquisamos no dicionário o significado da palavra “cosmologia” encontramos várias definições, as quais podem ser resumidas como sendo um ramo da astronomia que tem por objetivo investigar a estrutura, origem e evolução do universo em larga escala. Por larga escala, entendemos que os cosmólogos<sup>10</sup> trabalham, principalmente, com estruturas de tamanhos iguais ou maiores que galáxias<sup>11</sup>. Para exemplificar, algumas das questões importantes da cosmologia atual são a matéria/energia escura<sup>12</sup> e o Big Bang<sup>13</sup>. Contudo, não queremos dizer que os cosmólogos só pesquisam e estudam sobre coisas incrivelmente

---

<sup>10</sup> Quem estuda cosmologia

<sup>11</sup> Sistema formado por várias estrelas, gás, poeira e matéria escura. Galáxias podem ser desde anãs (aproximadamente alguns milhões de estrelas) até gigantes com centenas de trilhões de estrelas. Nossa galáxia, a Via Láctea, é uma galáxia intermediária com entre 100 a 400 bilhões de estrelas.

<sup>12</sup> Tipo de matéria que não tem interação com a matéria normal e nem com ela mesma! Veremos mais adiante do que se trata.

<sup>13</sup> Principal teoria científica que melhor explica a origem do universo.

grandes e superenergéticas. Não! Bons cosmólogos, sejam profissionais ou não, são grandes curiosos e investigadores do universo e, dessa maneira, precisam de um vasto conhecimento das várias ciências, como, principalmente, a física e matemática. Assim, podemos dizer que a cosmologia é uma ciência que estuda o universo do ponto de vista da sua origem, estado atual e possíveis destinos, fazendo uso de outras ciências, como, por exemplo, a física, matemática, computação e química. Porém, podemos nos perguntar: “Então, a cosmologia surgiu só quando já havia uma física bem desenvolvida e computadores potentes?”. De jeito nenhum! Essa é uma visão ingênua sobre o processo de desenvolvimento da cosmologia e das ciências em geral! Quando estudamos a história da humanidade e dos diversos povos, culturas e religiões que surgiram desde o aparecimento dos primeiros homens, uma das características comuns a todos eles é a busca do entendimento de onde e como surgiram o mundo e seus habitantes. Nesse ponto, chegamos a um riquíssimo e belo conjunto de histórias e mitos, dos quais muitos se tornaram religiões importantes na Antiguidade, e que tiveram a finalidade de explicar a origem e desenvolvimento do que viria a ser conhecido como Cosmos<sup>14</sup>. Embora utilizem padrões diferentes da atual cosmologia científica, essas cosmologias (as quais daremos o nome de cosmologias históricas) são uma fonte riquíssima de conhecimentos sobre como as civilizações viviam, como interpretavam o mundo e, propriamente, como a cosmologia nasceu e foi evoluindo até alcançar o estado em que está hoje..



Stephen William Hawking (1942 – 2018) – Foi um cosmólogo dos nossos tempos! Também era físico e se dedicou a estudar, principalmente, buracos negros e a formulação de uma teoria unificada da física. Escreveu inúmeros livros de divulgação científica, os quais foram responsáveis por levar ciência de uma maneira clara e divertida para diversas pessoas pelo mundo. Aos 21 anos, foi diagnosticado com uma doença degenerativa chamada Doença neural motora que comprometia toda a musculatura do seu corpo. Viveu até os 76 anos de idade.

*“Não importa quanto a vida possa ser ruim, sempre existe algo que você pode fazer, e triunfar. Enquanto há vida, há esperança.”*

Fonte: [www.hawking.uk.com](http://www.hawking.uk.com)

## Cosmologia histórica – a interpretação do Cosmos pelos povos antigos

<sup>14</sup> Palavra de origem grega que era usada para se referir à “ordem”, “regularidade” e “beleza”. A palavra “cosmético” tem a mesma origem.

Como dito anteriormente, quando voltamos nossos olhares para o passado e decidimos investigar a história da humanidade, a constante busca por explicações e compreensão do mundo, de como ele foi criado, o que é o céu (muitos povos antigos nem mesmo possuíam esse conceito, como veremos adiante), Sol, Lua e estrelas e uma série de outros questionamentos dessa natureza, percebemos que elas são uma característica comum a esses povos, independente da sua cultura e localização geográfica. Cosmologia histórica pode ser entendida como o conjunto de histórias e mitos provindos das primeiras civilizações e grupos sociais da história humana que buscavam explicar o mundo. As cosmologias antigas, se não eram as próprias religiões em si, foram as bases para a sua formação. Dessa maneira, ao interpretar suas histórias, encontramos alguns elementos comuns, como deuses ou entidades poderosas, os quais normalmente são o início do mundo, ou o fazem a partir de elementos geográficos também comuns, como rios, montanhas, vulcões e outros, variando de acordo com as localizações geográficas de cada cultura. As presenças de animais nessas cosmologias também são abundantes e variam de acordo com a fauna natural de cada região. Por exemplo, para os nativos de nossas terras, o *Dasypodidae* (tatu) aparece fornecendo o acesso a um novo mundo. Já nos desenhos que retratam a história da criação contada pelos egípcios, os falcões, animais comuns naquela região, são os grandes articuladores do processo.

Por fim, estudar não só a cosmologia de civilizações passadas, mas a sua cultura em geral, é um exercício de interpretação que exige nossa imersão nos seus mundos e contextos. Por mais diferente que as histórias possam nos parecer e, até mesmo, estranhas, é necessário sempre lembrar de levar em conta todo o contexto e época em que elas foram criadas; a maneira como seus povos viviam; e quais conhecimentos detinham. Do contrário, corremos o risco de fazer análises superficiais e, muitas vezes, até preconceituosas, sem mesmo chegar à essência e importância que esses pensamentos tiveram para a história. Nosso conhecimento de hoje não é algo construído a partir do nada, mas uma continuação da busca desde que os primeiros homens tiveram curiosidade sobre o universo, através de um simples olhar para o céu, numa noite estrelada, em uma planície africana qualquer, há milhares de anos atrás...



Ilustração representando um humano primitivo observando o céu e uma estrela em destaque.

Fonte: Astronomy Magazine – astronomy.com

### **O novo mundo dos Caiapós através de um buraco de tatu!**

Os caiapós são um grupo étnico de indígenas brasileiros habitantes da região da Amazônia brasileira. Hoje, podem ser encontrados ao norte do estado de Mato Grosso e sul do Pará. Possuem uma cosmologia rica e cheia de elementos da natureza de sua região, a qual desperta o interesse e estudos de pesquisadores de várias áreas<sup>15</sup>. O conto a seguir descreve como é a sua visão do início do mundo. Para eles, o universo é um conjunto de camadas, chamadas *pykas*. Essas camadas são sobrepostas, e representam os vários mundos existentes. Para explicar como o mundo em que habitam foi *descoberto* (e não criado) eles contam essa história:

*No início, a nação indígena dos caiapós habitava uma camada superior onde não havia nem o Sol e a Lua, tampouco rios ou florestas, ou mesmo o azul do céu. Sua alimentação consistia de apenas de alguns animais e mandioca, pois não conheciam peixes, pássaros ou frutas. Certo dia, um índio caçador caiapó estava perseguindo um tatu-canastra e acabou se distanciando muito de sua aldeia. A medida que o índio se afastava da sua tribo, a figura do tatu crescia cada vez mais, se tornando um animal muito grande. Quando o índio já estava próximo de alcançá-lo, o tatu rapidamente cavou a terra e desapareceu dentro dela.*

Neste ponto do conto, podemos perceber a regionalidade presente na referência ao tatu-canastra, um animal típico da América do Sul, e também a presença de elementos mágicos, como o fato do tatu “crescer cada vez mais”.

*Como a cova era imensa, o índio caiapó entrou nela e seguiu o animal. Quando já tinha percorrido grande parte de sua extensão, ficou muito surpreso ao perceber que na extremidade brilhava uma faixa de luz. Então ele e o tatu caíram pelo buraco direto dentro de um vazio, e um forte vento os fez retornar de volta para a borda do buraco. De lá ele observou o que tinha embaixo e, maravilhado, viu que existia um outro mundo, repleto de Buritís,<sup>16</sup> com um céu muito azul, e o sol a iluminar e aquecer as criaturas; na água, muitos peixes coloridos e tartarugas. Nos lindos campos floridos, destacavam-se as frágeis borboletas; florestas exuberantes abrigavam belíssimos animais e insetos exóticos, contendo ainda diversas árvores carregadas de frutos. Os pássaros embelezavam o espaço com suas lindas plumagens.*

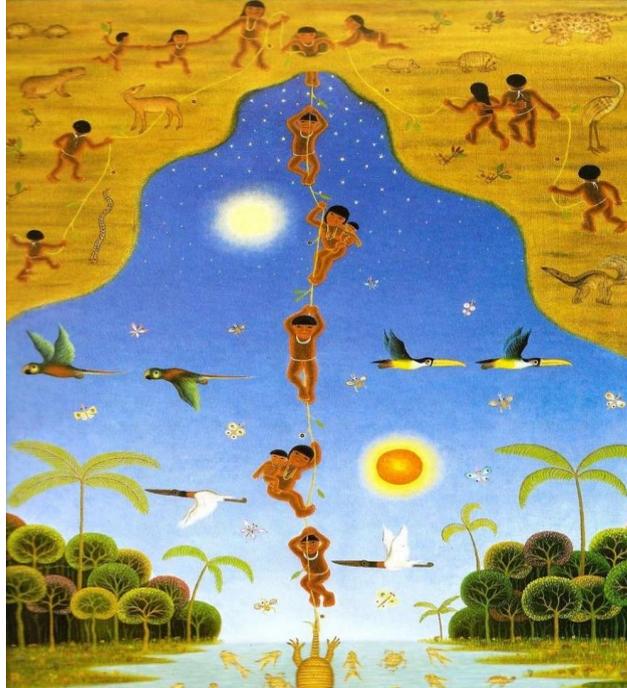
A descrição do “novo mundo” segue as referências aos elementos da sua região.

*Deslumbrado, o índio ficou admirando aquele paraíso, até o cair da noite. Entristecido em ver o pôr do Sol, pensou em retornar, mas já estava escuro. Novamente surge à sua frente outro cenário maravilhoso: uma enorme Lua nasce detrás dos picos, clareando com sua luz de prata toda a natureza. E assim permaneceu, até que a Lua se foi surgindo novamente o Sol. Muito emocionado, o índio voltou à tribo e relatou as maravilhas que viu. O grande ancião caiapó, diante do entusiasmo de seu povo, consentiu que todos descessem um a um, pela cova, através de uma imensa corda de algodão, até aquela nova *pyka*. Lá seria o*

<sup>15</sup> Ver a revista *Scientific American - Etnoastronomia*, edição especial número 14, matéria “A cosmologia dos caiapós” de Márcio D’Olne Campos, p. 62.

<sup>16</sup> Palmeira comum no Brasil, Venezuela e América Central.

*magnífico Mundo Novo, onde todos viveriam felizes. Porém, nem todos tiveram coragem de descer e, os pequenos pontos brilhantes que eram vistos no céu noturno desse novo mundo, eram as fogueiras daqueles que ficaram habitando a camada superior e que, por medo, não desceram”.*



Os caiapós deixando seu mundo antigo e descendo para o maravilhoso e fértil novo mundo.

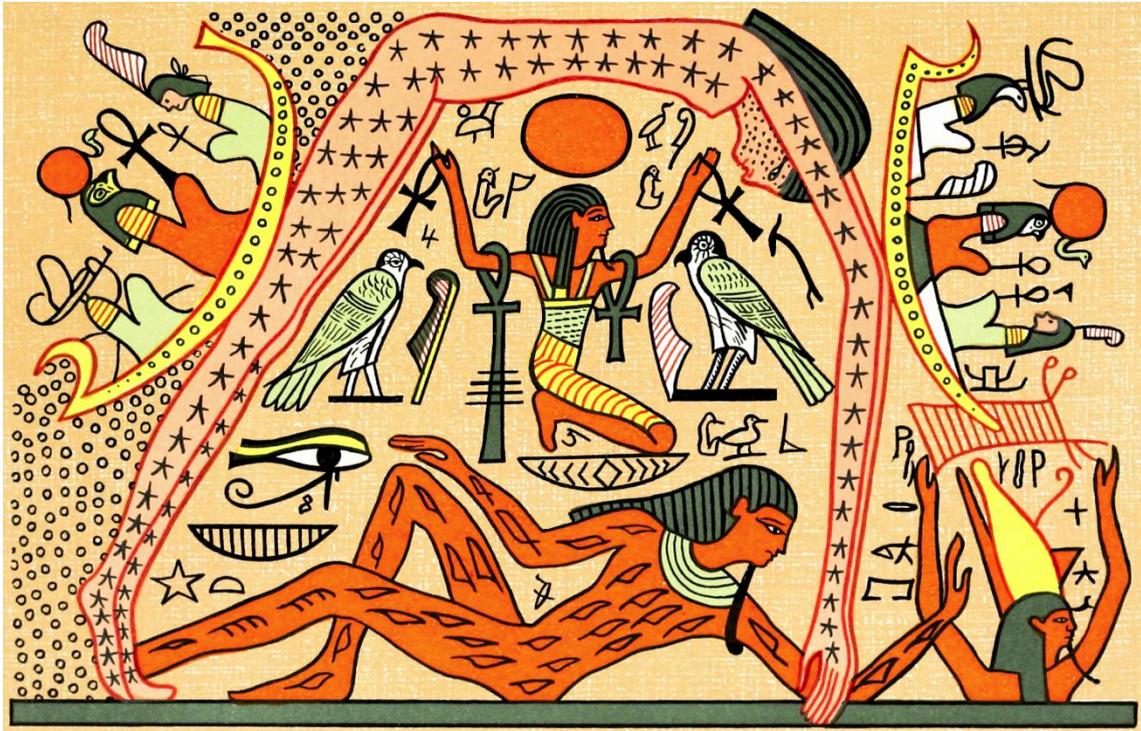
### **... E o mundo surge das águas turbulentas – A cosmologia egípcia**

Para os egípcios antigos (aproximadamente entre 2.000 e 3000 a.C) o mundo era dividido em três partes. A Terra, a qual era plana, estava situada entre os outros dois mundos. Também era cortada pelo rio Nilo e cercada por um imenso oceano. Acima da Terra estava o mundo do céu, que era sustentado por 4 pilares, os quais, muitas vezes, foram representados por montanhas. O terceiro e mais escuro mundo era o que eles se referiam como *Duat*, um mundo que existia nas profundezas da Terra. Eles acreditavam que tudo o que não era visível no mundo superior, estaria escondido no *Duat*. Assim, as estrelas que sumiam ao amanhecer, o Sol poente no final da tarde e, até mesmo, os falecidos habitavam lá. Acreditava-se que o Sol, ao se pôr, percorria um longo caminho pelo *Duat* durante a noite, até retornar no outro dia.

Embora os egípcios acreditassem em universo que não alterava seu estado, eles também pensavam que ele nem sempre existiu da maneira como era. Dessa forma, existiam três versões que contavam como este universo teria sido criado. Um ponto comum a todas essas histórias é que as águas eram a origem de tudo, e deveriam existir eternamente nos três mundos, sempre os cercando e percorrendo seus ambientes. Também para os egípcios o universo e seus componentes eram criaturas vivas, normalmente representadas por deuses ou personagens.

Em uma das principais versões da criação, é contado que das águas primordiais, representadas pelo deus *Nun*, nasceu *Atum*, o deus criador de tudo. Ele surgiu como uma montanha que brotou das águas (*Nun*) e, a partir dele mesmo, criou o deus *Shu*, deus do ar, e *Tefenet*, a deusa da chuva e do orvalho. Logo após, *Atum* criou as divindades de *Geb* e *Nut*. *Geb* representava a Terra e *Nut* o céu. No entanto, eles foram criados em unidade, até que *Shu* levantou o corpo de

*Nut* para bem alto, criando assim o céu separado da Terra. Essa foi a criação inicial de tudo e todos os outros deuses e entidades do mundo viriam posteriormente a partir dela<sup>17</sup>.



O deus Shu, ao centro, separando a Terra (Geb) do céu (Nut) no momento da criação.

Fonte: Wikimedia Commons

### Cosmologia dos povos mesopotâmicos<sup>18</sup>

Os povos que viveram entre os rios Tigres e Eufrates, há, aproximadamente, 5000 a.C também possuíam histórias nas quais expressavam suas ideias sobre como o universo teve a sua origem. A versão principal conta que três deuses governavam o universo: *Anu*, o deus do Céu, *Ea*, o deus da Terra e das águas e *Enlil* era o governante do ar, o qual ficava entre os domínios dos outros dois deuses<sup>19</sup> (notamos aqui uma similaridade com a cosmologia egípcia). Embora *Anu* seja considerado o pai dos deuses, ele compartilha o governo do universo juntamente com *Ea* e *Enlil*. Similarmente aos deuses egípcios, os deuses mesopotâmicos eram descendentes das águas. *Tiamat*, a deusa das águas salgadas, e *Apsu*, o deus das águas doces, deram origem à mistura primordial de onde os outros deuses surgiram. *Anu* e *Ea* também estavam unidos no início, e foi *Enlil* quem soprou entre eles e os separou.

<sup>17</sup> Para outra versão similar da criação contada pelos egípcios ver o livro “*Conceptions of Cosmos*” de Helge Kragh, páginas 7 e 8.

<sup>18</sup> Refere-se mais especificamente aos sumérios, amoritas (babilônios), assírios e caldeus.

<sup>19</sup> Os nomes dos três deuses apresentados aqui provêm da nomenclatura dada pelos amoritas (babilônios). Existem variações de acordo com o povo em questão.



Representações de Anu – o deus do Céu – da Mesopotâmia antiga.

Fonte: AncientPages.com

Embora os babilônios fossem desenvolver uma astronomia e matemática muito avançadas para sua época, e fossem exímios observadores e conhecedores do céu e das estrelas, isso não influenciou significativamente suas concepções sobre a origem do universo, permanecendo essas em seu caráter mitológico. No entanto, existem alguns relatos isolados onde as observações astronômicas se misturam com a sua visão da ordem do universo. No mito da criação babilônico, *Enuma Elish*, escrito em tábuas de argila, totalizando aproximadamente mil linhas sobre a história da criação do universo, é possível encontrar referências às observações da lua e suas fases. A lua é descrita como um marcador do tempo, um deus que, usando uma coroa em posições diferentes (fases da lua), definiria o período de um mês. O deus da cidade da Babilônia, Marduque, foi quem organizou o calendário. Ele ordenou que a Lua surgisse e a tornou uma “criatura das trevas”, ficando ela a responsável pela noite e por medir o tempo. Conta a lenda que todo mês, sem falhar nem uma única vez, ele a presenteava com uma coroa, a qual ela sempre usava. O seguinte trecho é referente ao texto do *Enuma Elish*<sup>20</sup>:

*“No início do mês, ao subir sobre a terra, teus chifres brilhantes seis dias medirão; no sétimo dia, apareça metade da tua coroa. Na Lua cheia, enfrentarás o Sol ... [Mas] quando o Sol começar a ganhar em ti nas profundezas do céu, diminua o seu esplendor, inverta o seu crescimento.”*

<sup>20</sup> Livro “*Conceptions of Cosmos*”, Helge Kragh, página 9.



Tabuletas de barro contendo o texto *Enuma Elish* – o mito da criação babilônica.

Fonte: [www.mitografias.com.br](http://www.mitografias.com.br)

### Para aprender mais – Sugestão de leitura

Na história da cosmologia dos povos antigos um vasto e rico material pode ser encontrado. O historiador da ciência e autor dinamarquês Helge Kragh, já citado nesse texto, escreveu o livro “*Conceptions of Cosmos – From Myths to Accelerating Universe, a history os Cosmology*” (Oxford University Press, ainda sem tradução para o português) no qual ele descreve, detalhadamente nos primeiros capítulos, muito da história das cosmologias antigas.

O que procuramos apresentar nesse capítulo foi uma breve introdução ao assunto das cosmologias históricas e sua importância para o desenvolvimento da cosmologia. Embora tenhamos abordado apenas três exemplos, existem inúmeras outras cosmologias antigas, advindas de vários povos e diferentes tempos da nossa existência, as quais também podem ser trabalhadas em sala de aula.

### Sugestão de atividade

1) Deixe sua imaginação fluir e se pense que você vive em uma civilização do Mundo Antigo qualquer. Você pode até inventar uma se quiser! Como é a *cosmologia* do seu povo? Explique a visão de vocês sobre como o universo foi criado e como ele é. Quanto mais imaginação e criatividade, melhor! Faça uso também de desenhos, poesias e o que mais desejar.

## Capítulo 3

### Afinal, como é o universo? Como sabemos o que sabemos?

#### *Objetivos desse capítulo*

*Os alunos são convidados a conhecer uma visão científica geral do universo. Através da pergunta “Como podemos afirmar que sabemos o que sabemos?”, surge a reflexão de que a visão científica do universo não vem por acaso, tampouco é fruto de somente simples imaginações e subjetividades, mas o trabalho de anos de pesquisas e investigações científicas rigorosas baseadas no método científico. Algumas reflexões sobre o método científico ressurgem nesse capítulo para reforçar essa ideia. Também é apresentado uma pequena história de como essas investigações foram evoluindo e se tornando mais precisas. Ao final,*

*seria significativo que, além desses conceitos, os alunos soubessem que a atual visão científica do universo o mostra como um universo em expansão (não estático), evoluindo de algum momento no passado, como mostra a teoria do Big Bang, onde a sua densidade e temperatura eram muito elevados. Também seria significativo que saibam conceituar bem resumidamente e diferenciar a Teoria da Relatividade Geral e a Mecânica Quântica, se possível, fazendo uso do conceito de “recorte da realidade” apresentado aqui. Importante: não se espera que nesse momento adquiram conceitos um pouco mais técnicos referentes a quaisquer uma dessas teorias apresentadas no capítulo.*

Começamos com uma história contada por Stephen Hawking no primeiro capítulo do seu livro “Uma breve história do tempo”. Uma certa vez, um renomado cientista chamado Bertrand Russel estava dando uma palestra sobre astronomia. Ele falava sobre como os planetas orbitavam a nossa estrela o Sol e, como esse, por sua vez, também orbita outras estrelas – um conjunto que conhecemos por nossa galáxia, a Via Láctea. Conta a história que, do fundo da plateia, levantou-se uma senhora que disse: ” O que o senhor acabou de falar é uma imensa bobagem. Na verdade, o mundo é um prato achatado apoiado no dorso de uma tartaruga gigante”. Sorrindo, Bertrand perguntou: “No que a tartaruga está apoiada? ” “O senhor é muito esperto, rapaz, muito esperto. Mas existem tartarugas até lá embaixo! ”, respondeu a mulher.

Qual das duas perspectivas faz mais sentido para nós - a de Bertrand ou da instigante senhorinha? Para a grande maioria de nós, o universo representado como uma torre de tartarugas soaria um tanto quanto impossível. Mas por que, afinal, afirmamos saber o que sabemos? Provavelmente, aquela senhorinha era uma grande admiradora de tartarugas e achava belo relacionar a estrutura do “mundo” (universo) com seu animal favorito. As colocações de Bertrand, na verdade, não eram simples colocações e nem muito menos de sua autoria! Foram teorias construídas através de séculos de observações<sup>21</sup> e estudos, por diferentes homens e em diferentes partes do mundo, seguindo o tão imprescindível “método científico” (o qual discutimos no primeiro capítulo). E, como bem lembrado, quando investigamos algum fenômeno sob a perspectiva de tal método, dentre uma série de características presentes nesse tipo de investigação, uma delas é não deixar que as nossas “vontades” influenciem nos resultados. O método científico não deve deixar espaço para subjetividades. Em outras palavras, não podemos “forçar” um resultado para que ele nos agrade e fiquemos satisfeitos por eles terem correspondido às nossas imposições interiores. Acho as onças pintadas das nossas Américas os animais mais majestosos e lindos que já vi em toda minha vida! Seria muito divertido (para mim, claro) que a estrutura do universo tivesse alguma coisa relacionada a elas... os campos gravitacionais seguindo padrões dos desenhos das pintas... tudo seria belo e significativo... Mas somente para mim e, talvez também, para a maioria daqueles que compartilham dessa OPINIÃO! Opinião – essa é a palavra que não vai muito bem com o método científico.

---

<sup>21</sup> Não que a possível teoria da senhorinha não pudesse ser advinda de alguma cosmologia antiga, tal como vimos no segundo capítulo, mas o que estamos realmente discutindo aqui é o fato de um conhecimento ser construído através do método científico ou não. Nesse caso, foram anos de pesquisa científica.

Quando afirmamos saber o que sabemos (em referência às descobertas científicas como um todo e, nesse caso, às ideias de movimentos celestes que Bertrand explicava, ou, pelo menos, tentava explicar em sua palestra) estamos apoiados em investigações meticolosas e detalhadas da natureza e seus fenômenos. Inclusive, investigações realizadas e conferidas por cientistas, muitas vezes, de diversas partes mundo, diferentes culturas, gostos musicais, crenças religiosas, idiomas, hábitos alimentares e torcidas de times de futebol diferentes (dentre outras inúmeras particularidades). Não importa, sempre chegaram nos mesmos resultados e, quando não, surgia uma nova frente de pesquisa e todo o processo se repetia. Um cientista indiano adorador da deusa hindu da sabedoria, Sraswati<sup>22</sup>, e que adora comer Samosa<sup>23</sup> encontrará os mesmos resultados ao ser questionado sobre qual a força gravitacional que a Terra exerce na Lua, do que um cientista mexicano, católico, cujo prato preferido é Guacamole<sup>24</sup> com muita pimenta Serrana. Os dados usados nesse cálculo, massas dos dois corpos, constante gravitacional e distância entre eles independem de qualquer opinião ou qualquer outra subjetividade de cada um dos cientistas. As operações matemáticas idem -  $23 \times 2 = 46$  seja no México, Índia, Brasil ou qualquer outro lugar do planeta.

O geocentrismo foi uma teoria que durou muito tempo e teve pensadores famosos como Aristóteles e Ptolomeu como defensores. Para eles, a Terra era o centro do que consideravam como o universo, composto pelo Sol, Lua, alguns planetas<sup>25</sup> e as estrelas. Todos giravam em torno dela e, com os aperfeiçoamentos feitos por Ptolomeu, foram descritos os movimentos realizados por eles, seguindo as esferas que tais corpos deveriam ocupar, tendo a Terra em seu centro. O modelo ptolomaico tinha grandes problemas para descrever a órbita lunar. Para adequar o modelo ao movimento observado da Lua, Ptolomeu previa que ela teria que se aproximar duas vezes mais da Terra durante um certo período de tempo. Logicamente, ao fazer isso, ela apareceria duas vezes maior no céu! No entanto, esse modelo durou toda a idade antiga, pois, além de outros fatores, também satisfazia as concepções filosóficas dos gregos que acreditavam que as esferas representavam a perfeição e a forma como os elementos se agrupavam. Com a introdução dos epiciclos, o modelo se adequava à teoria, tornando-se observacionalmente válido. Outra questão que fez o geocentrismo durar boa parte da idade média foi porque também não entrava em conflito com a fé cristã, a qual acreditava ser o universo criado por Deus em nossa função. Dessa forma, ocupar “o seu centro” com tudo girando ao nosso redor, reforçava isso.

Em 1514 uma teoria contrária começou a ser difundida. O padre polonês Nicolau Copérnico defendia uma ideia onde o Sol ocupava o centro do universo e todo o restante o orbitava. Importante lembrar que, como discutido no capítulo 1, Aristarco de Samos já havia proposto essa ideia na Grécia, mais ou menos 250 a.C. Isso viria a ser conhecido como heliocentrismo e começou a ganhar força há aproximados 100 anos depois dos estudos de Copérnico. Dois astrônomos, um italiano, chamado Galileu Galilei, e outro alemão, Johannes Kepler, deram bases mais sólidas à teoria. Em 1609, Galileu abalou o “mundo geocêntrico”, através de um

---

<sup>22</sup> Saraswati (sânscrito) é a deusa hindu da sabedoria, das artes e da música e esposa de Brahmā, o criador do mundo.

<sup>23</sup> A samosa é um pastel triangular de origem indiana.

<sup>24</sup> Purê de abacate temperado com sal, limão, azeite, cebola, tomate e pimenta.

<sup>25</sup> A palavra planeta significa “andarilho”, no grego. Se referiam às “estrelas” que tinham um movimento diferente das demais no céu.

telescópio, o qual ele mesmo aperfeiçoou e fez observações importantes, incluindo o planeta Júpiter e quatro corpos que o orbitavam. Estava ali um indício de a Terra não era o centro de absolutamente tudo no universo, pois, em Júpiter, quatro satélites o orbitavam, e não orbitavam diretamente a Terra. Mas isso não era, contudo, uma evidência que derrubava o geocentrismo definitivamente, porém, já o colocava em dúvida. O problema das órbitas circulares ainda persistia, pois se supunha que os planetas orbitavam o sol em trajetórias circulares, mas isto não concordava com as observações, e foi Kepler quem introduziu o conceito das órbitas elípticas. Embora suas fortes concepções religiosas não o fizesse “gostar” do movimento elíptico, e sim do movimento circular, seus cálculos e, principalmente, as observações de Marte o levaram a admiti-las, pelo menos, para a validação do modelo. Ele também defendia, erroneamente, que o que se conhecia à época por força magnética era a responsável pelo movimento elíptico. Contudo, a teoria magnética e as órbitas elípticas eram contraditórias entre si (a órbita elíptica de Marte não podia ser conciliada a essa teoria) e Kepler não tinha uma solução para o problema.

O homem que habita o imaginário coletivo como sendo aquele que foi atingido por uma maçã na cabeça e teve uma brilhante ideia, foi o que pôs luz sobre a questão das órbitas elípticas e o movimento dos corpos celestes. Isso ocorreu no ano de 1666, enquanto ele estava em quarentena, na casa da mãe, devido à Peste Bubônica<sup>26</sup>. Notável mencionar que, ao mesmo tempo que fazia isso, também inventou o cálculo integral<sup>27</sup> e diferencial<sup>28</sup>! O esforçado Isaac Newton, cujo crânio não fora atingido pelo fruto proibido dos cristãos, segundo os relatos do próprio<sup>29</sup>, publicou, em 1687, um dos mais importantes tratados das ciências naturais – “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*”. Nele, através de uma matemática complexa e inovadora, explicava os movimentos dos corpos pelo espaço e tempo, dois conceitos independentes um do outro, uma ideia que seria superada somente 300 anos depois com Albert Einstein. Também introduziu a teoria da gravidade. Basicamente, ela explicava o porquê das coisas caírem, e como todos os corpos do universo se atraem mutuamente. Postulava que quanto maior eram as suas massas e a aproximação entre eles, maior era a força que os atraía – a gravidade. Usando essa teoria, ele demonstrou as órbitas elípticas da Lua ao redor da Terra e dos planetas ao redor do Sol.

Mas essa teoria também o fez refletir sobre as questões da posição das estrelas e o estado do universo. Como a gravidade gerava atração entre os corpos, ele indagou que as estrelas começariam a se atrair mutuamente e, conseqüentemente, em algum momento, entrariam em choque. Em 1861, ainda intrigado, ele escreve a um amigo cientista dizendo que isso poderia acontecer, porém, somente se o número de estrelas do universo fosse finito e também estivessem confinadas em um espaço igualmente finito. Caso considerasse o universo e o número de estrelas infinitos, isso não seria possível, pois não haveria um centro do Universo onde as estrelas pudessem cair! Na verdade, esse pensamento se torna paradoxal porque em um Universo infinito e com infinitas estrelas, qualquer localidade pode ser considerada o seu

<sup>26</sup> Causada pela bactéria *Yersinia pestis* e pode se disseminar pelo contato com pulgas infectadas. Matou  $\frac{2}{3}$  da população europeia nessa época.

<sup>27</sup> Utilizado para calcular a área abaixo de uma curva no plano cartesiano. Muito aplicado em problemas de física e engenharia.

<sup>28</sup> Derivar a curva de uma função em um determinado ponto, significa encontrarmos a reta tangente à ela nesse ponto. Também muito utilizado em problemas da física e engenharia.

<sup>29</sup> Ver artigo de Roberto de Andrade Martins – A maçã de Newton – história, lendas e tolices (p.175 e 176)

centro, uma vez que estará rodeada pelo mesmo número de estrelas. Dessa maneira, o colapso delas gerado pela força gravitacional também ocorreria. Como resolver o paradoxo?

Uma possível saída seria pensar que o universo pudesse se expandir. Me imagine a um metro de você. Eu estou sobre marca de um “x” e você sobre a de um “o”, ambos desenhados no chão em que pisamos. De repente, ficamos mais distantes, por exemplo, há uns 2 metros um do outro. Você olha para os meus pés e eles continuam sobre o “x”. Olha para os seus próprios pés e eles continuam sobre a mesma marca do “o”. Você conclui que não nos movemos, mas, ainda assim, a distância entre nós aumentou. Progressivamente, o processo se repete. O que está acontecendo, já que nós não estamos nos locomovendo? Uma observação mais criteriosa revela que o espaço é que está se dilatando! Essa é outra ideia que foge das nossas experiências cotidianas e vamos vê-la com mais detalhes nos próximos capítulos. Por hora, pense que em nosso lugar, agora, estão as estrelas ou planetas. Neste caso, o universo estaria se expandindo e as distâncias entre os planetas e estrelas aumentando. Essa foi uma ideia que não apareceu em nenhum momento nessa época e nem durante toda a história escrita da humanidade, pois os filósofos e estudiosos consideravam que o universo deveria ser estático. Tentaram realizar várias modificações na teoria da gravidade, de maneira a colocá-la como repulsiva, caso os corpos estivessem a longas distâncias uns dos outros, surgindo uma espécie de equilíbrio, resultando em um universo estático. Hoje, porém, é sabido que tal equilíbrio, de um universo estático e eterno, seria facilmente quebrado por qualquer pequeno distúrbio nas distâncias entre os corpos.

Essa questão ficou por muitos anos sendo debatida pelos mais variados cientistas e filósofos<sup>30</sup>. Em 1826, um médico e astrônomo alemão chamado Heinrich Olbers, publicou um artigo, o qual continha um problema que mais tarde viria a ser conhecido como o “Paradoxo de Olbers”. Ele fazia a seguinte reflexão: ao observarmos o céu noturno, encontramos mais espaços negros do que estrelas. Em um universo infinito, estático e homogêneo de estrelas, isso não deveria acontecer pois, para qualquer direção em que olhássemos, nossa linha de visão recairia sobre uma estrela, o que nos faria enxergar o céu noturno tão brilhante quanto o Sol matinal. Implicitamente a essa ideia, estava lançada também a teoria de que as estrelas tivessem se formado em um tempo específico, ou seja, não existiram para sempre.

A teoria do Big Bang é a que melhor explica atualmente o estado inicial do universo (temos um capítulo à frente somente sobre esse tema). Como já brevemente discutido aqui, e também será analisado com mais detalhes à frente, a descoberta da expansão do universo por Edwin Hubble, na década de 20, trouxe uma série de novos paradigmas para a cosmologia. Dentre eles, o que se relacionava à possível origem do universo era o fato de o universo atual estar se expandindo. Alguns cientistas começaram a se indagar, caso pudéssemos retroceder o relógio para tempos passados e ver o que acontecia, qual seria o cenário? Muito provavelmente veríamos o universo se encolhendo, progressivamente, a medida que voltássemos no tempo (o movimento contrário à expansão), até chegar ao ponto em que todo o universo e seu conteúdo estariam confinados em um único ponto. E aqui começa um dos maiores mistérios que a Cosmologia investiga hoje – qual era o tamanho desse ponto? Era infinitamente pequeno? Mas qual o significado desse “infinitamente”? Fisicamente, o que quer dizer infinito? Uma

---

<sup>30</sup> Nessa época, eram duas ocupações pouco diferenciadas uma da outra.

vez que nos propomos a querer entender racionalmente o Universo, conceituar e saber o valor do infinito se torna algo essencial. Seria ali o início do universo ou existia algo antes? O universo surgiu do nada? Essas são perguntas que, além de muito instigantes e interessantes, são a base de inúmeros trabalhos hoje na Cosmologia, inclusive o “trabalho de uma vida” de muitos cientistas, e, mesmo assim, ainda não foram respondidas (talvez algum leitor desse pequeno livro pode vir a ser alguém que trará boas contribuições a esse tema, quem sabe?!). Dessa forma, devemos ter em mente que, quando falamos em teoria do Big Bang, estamos nos referindo a partir de um certo momento em que o universo era muito jovem, pequeno e quente, porém, o estado anterior a esse momento (conhecido como tempo de Planck e veremos sobre ele mais adiante) ainda é incerto, e vem sendo muito estudado. A teoria do Big Bang ainda não descreve o que teria ocorrido antes desse tempo, mas isso não significa que os cientistas não estão pesquisando sobre isso e já possuem algumas ideias (veja bem, ideias, e não comprovações!). Teria o Universo começado ali, ou o Big Bang é apenas a parte de expansão de um processo cíclico muito maior, onde o Universo se expande até um certo ponto, para, e depois se contrai até um valor muito pequeno, para então voltar a se expandir (apenas essa última etapa citada de expansão seria o que conhecemos por Big Bang, ou seja, apenas uma fase em um ciclo)? Um importante cientista que dedicou a sua vida a estudar Cosmologia e tentar responder também a essas perguntas sobre a origem do Universo foi Stephen Hawking. De uma maneira resumida, o cenário que ele propõe para esse possível início do Universo tem mais a ver com a primeira opção. Nele, não faz sentido perguntar sobre o que teria ocorrido antes do Big Bang porque, simplesmente, o tempo não existia, e passou a existir a partir daquele instante. Você pode perguntar: “Mas origem do tempo? Ele não é eterno e sempre existiu? ”. De acordo com Hawking, não. Como será visto mais adiante, a Teoria da Relatividade Geral prevê que o tempo se desacelera conforme “caminhamos” na direção de um centro de grande massa (nesse caso, o ponto pequeno onde toda a matéria do universo está concentrada). Estamos falando de um cenário de densidade infinita, ou seja, uma quantidade de matéria absurdamente grande de tal forma que o tempo nesse contexto se desacelera a ponto de parar! Isso mesmo, o relógio pararia e o tempo seria estático. Assim, na expansão do Big Bang, tem origem não só o espaço, mas também o próprio tempo (espaço-tempo). Sob essa perspectiva, não faria muito sentido falar sobre algum momento antes desse início porque o próprio tempo não existiria<sup>31</sup>. É interessante também conhecer o que uma outra linha de estudos da Cosmologia diz, como por exemplo, a que o cosmólogo brasileiro Mario Novello também trabalha<sup>32</sup>. Nessa teoria, a história que se passa antes do Big Bang é o cenário de contração e expansão do Universo a qual mencionamos algumas frases atrás. O Universo sempre existiu, e vive em um ciclo de expansão e contração (nesse momento estaríamos vivendo no momento de expansão do Universo). Saber o que de fato aconteceu antes do instante do tempo de Planck ( $10^{-43}$  s ), é uma tarefa que exige muita dedicação e conhecimento. Como dito, pode ser o trabalho de uma vida inteira de uma pessoa! Neste livro, procuraremos apenas nos ater a teoria do Big Bang, em um capítulo específico, a qual discorre o que aconteceu a partir do tempo de Planck. É importante ressaltar que a teoria do Big Bang não é algo criado como uma história de ficção científica ou enredo para filmes de super-herói.

---

<sup>31</sup> Você pode encontrar o próprio Hawking falando sobre isso, no seu livro “Breves respostas para grandes questões”, mais especificamente no capítulo “Como tudo começou”.

<sup>32</sup> Você pode acessar uma aula do professor sobre a teoria nesse endereço:  
<https://www.youtube.com/watch?v=W21s-blOskY&t=1304s>

Ela possui uma forte fundamentação teórica e evidências físicas, como a radiação cósmica de fundo, os testes das reações nucleares nos átomos e observações da expansão do universo. Hoje, na comunidade acadêmica, como dizemos no começo, é a melhor teoria que descreve o passado do Universo, fortemente sustentada por observações. Desde que esse capítulo não é destinado para tratar especificamente do Big Bang, por hora, basta termos esses conceitos introdutórios em mente – o universo, num passado muito distante, era extremamente quente, denso (muita matéria concentrada em um único ponto) e começou a se expandir, evoluindo até o cenário em que vivemos hoje.

Como foi mencionado acima a Teoria da Relatividade Geral, torna-se importante fazer uma reflexão sobre como os cientistas tentam descrever a natureza. Ao investigar o universo e os seus fenômenos, eles se deparam com uma gama imensa de complexidades. Assuntos que devem ser detalhados ao máximo possível, com o maior grau de precisão de que possa alcançar. Muitas vezes, um pequeno detalhe de alguma teoria torna-se o trabalho de toda uma vida de gerações de cientistas. Tal complexidade requer de nós a habilidade de saber dividir esses assuntos em “recortes isolados” da realidade, para que seja humanamente possível estudá-los e investigá-los a fundo. É necessário tentar simplificar o problema, as suas condições e criar um “recorte” onde tenhamos controle dos parâmetros envolvidos. Mas não devemos confundir essa habilidade com não sermos dinâmicos e heterogêneos em nosso conhecimento, elegendo apenas algumas coisas como importantes e fechando os olhos para o resto. Não é isto que está sendo dito. Pelo contrário, em se tratando de ser curiosos e adquirir conhecimento, devemos conhecer e aprender o máximo, sobre os mais variados campos de estudos da ciência, em diferentes áreas e com diversos autores! Conhecer outros departamentos do conhecimento que não sejam os que já estamos acostumados, juntamente com as suas teorias e métodos (acredite, eles são imensamente numerosos), torna o nosso próprio conhecimento mais robusto e adaptável ao mundo.

Hoje existem duas grandes teorias abrangentes que nos ajudam a criar os recortes para o estudo do universo: a Teoria da Relatividade Geral e a Mecânica Quântica. Ambas serão temas de capítulos posteriores e aqui cabe uma pequena introdução.

A Relatividade Geral é a teoria do famoso físico Albert Einstein. Foi apresentada em 1915 e significou uma revolução para o mundo. Ela estuda, principalmente, o universo em grande escala, a origem da gravidade e como os corpos interagem entre si através dela. As dimensões típicas da maioria dos problemas nessa teoria são da ordem de centenas de quilômetros até milhões de milhões dessa unidade. Estamos interessados em campos gravitacionais, distorções no espaço-tempo (os quais, aliás, são dependentes um do outro), interações entre objetos de grandes massas, estrelas e buracos negros dentre outros assuntos.

Já quando nos referimos à Mecânica Quântica, estamos falando do infinitamente pequeno. Essa teoria foi proposta por Max Planck por volta do ano de 1900. Seu conceito fundamental era o de quantização da energia, ou seja, a unidade fundamental de energia, chamada de quantum. Uma analogia útil para abstrair tal conceito é imaginar uma parede composta por tijolos, todos iguais e que não podem ser fragmentados. A parede será considerada como uma quantidade de energia qualquer. Os tijolos, portanto, são a sua unidade fundamental básica, a menor divisão que podemos fazer da energia. Se fossemos “quebrando” a parede, iríamos chegar na unidade do tijolo inquebrável. O Princípio da Incerteza também é outro conceito muito importante dessa teoria e igualmente revolucionário. Basicamente, ele nos diz que no nível subatômico, não podemos conhecer, ao mesmo tempo, a velocidade e a posição de uma

partícula. No instante em que conhecermos uma das duas grandezas, a outra apresentará uma incerteza maior na sua medição.

Contudo, existe um fato intrigante sobre as duas teorias: embora ambas funcionam muito bem em seus respectivos campos de estudo, elas são incompatíveis entre si. Muitos trabalhos no mundo científico estão voltados para a tentativa de unir as duas em uma só. Stephen Hawking também foi um dos principais cientistas que dedicaram a sua vida nessa busca. Aliás, como mencionamos acima, a sua busca pelas respostas sobre a origem do Universo tem tudo a ver com a tentativa de unir a Mecânica Quântica com a Teoria da Relatividade em uma única teoria que pudesse explicar tudo. Outro importante cientista, o italiano Carlo Rovelli, também é um explorador da realidade, desenvolvendo seus estudos sob os campos da Gravidade Quântica (uma teoria que, como o próprio nome diz, mescla as outras duas grandes). Dessa forma, eles e mais inúmeros e esforçados cientistas espalhados por todo o mundo vão tentando juntar os recortes de realidade na tentativa de elaborar uma nova teoria mais abrangente. O que o futuro reserva, se isso será possível ou não, não se pode prever. Só é possível continuar investigando com curiosidade e criatividade, cultivando o conhecimento, fazendo-o progredir, checando os resultados, validando nossas hipóteses e tentando aprender o máximo com elas. Também é bom que sigamos admitindo os erros quando acontecem, mantendo a humildade de reconhecer nossas limitações e nunca querendo impor nossas vontades ao universo. Assim, vamos tentando formar a sua imagem, no fundo, a nossa própria imagem, apoiados no nosso saber científico...

*Para conhecer mais:*

- *Uma breve História do Tempo, Stephen Hawking, capítulo 1 “Nossa imagem do Universo”.*
- *A maçã de Newton – História, lendas e tolices, Roberto de Andrade Martins (artigo disponível na internet).*
- *Sete Breves Lições de Física - Carlo Rovelli.*
- *A Máquina do Tempo – Mario Novello.*

*Filmes e documentários*

- *A Teoria de Tudo (2014) – Conta a vida e as pesquisas de Stephen Hawking.*
- *Cosmos (2014) – episódio 1 “De pé na Via Láctea”.*

*Perguntas de fixação*

*Se você fosse perguntado por alguém, pode ser algum/a amigo/a ou parente, sobre o que os cientistas sabem atualmente sobre como é o universo, o que você responderia?*

1) *Vamos supor que você e seus amigos/as estão superinteressados em ciências e decidem aprender mais sobre ela. Vocês decidem que cada dia irão passar 1h na biblioteca aprendendo física, química, matemática e biologia em dias alternados. No dia da física, vocês se dirigem às estantes de livros de física e começam a procurar por algum livro interessante. Um amigo/a acha um, com um senhor sorridente, de bigode e cabelo meio atrapalhado na capa e o seguinte título “A Teoria da Relatividade”. Todos ficam muito intrigados e ainda mais animados quando leem o nome do autor “Albert Einstein”. “Esse livro deve ser muito da hora! Bora estudar ele!”, diz um dos seus amigos. “Mas eu nem sei o que é Teoria da*

*Relatividade! O que ela estuda? Será que é legal? ”. Seu outro amigo fica mudo, pois também não tem ideia do que se trata. Você é questionado sobre o que é essa teoria. O que você responderia?*

2) *Muitas pessoas, erroneamente, usam a expressão “Isso é mais difícil do que física quântica”, para se referir a atividades que acham complicadas. Na verdade, a física quântica nem é tão difícil assim, só precisa de dedicação nos estudos para que seja aprendida. Você poderia conceituar abaixo o que é mecânica quântica? (Esse é um nome um pouco mais específico para se referir à física quântica, uma espécie de nome oficial, física quântica = mecânica quântica)*

## Capítulo 4

# Teoria da Relatividade Especial e Geral

### Objetivos

*Neste capítulo, apresentamos alguns conceitos básicos da Teoria Geral e Especial da Relatividade. É esperado que, ao final, o leitor saiba as características e principais conceitos de cada uma assim como solucionar os problemas básicos que disponibilizamos nesse mesmo capítulo.*

### Introdução

A Teoria Especial e Geral da Relatividade marca uma revolução na física e na maneira como a humanidade conhecia o universo e suas leis. Estamos falando do início do século XX, mais precisamente do ano de 1905, quando um recém graduado em física, chamado Albert Einstein, publicou uma série de cinco brilhantes artigos, apresentando e discutindo a Teoria Especial da Relatividade. Nessa época, ele trabalhava em um escritório de patentes e não possuía qualquer tipo de vínculo profissional com nenhuma universidade ou laboratório. Todo seu trabalho foi desenvolvido com uma originalidade e esforço impressionantes, aliados à sua personalidade criativa e curiosa. Dez anos depois, Einstein expandiu sua teoria, combinando-a com a teoria gravitacional de Newton, e dando o nome de Teoria Geral da Relatividade.

O que será apresentado nos próximos tópicos são os principais conceitos de ambas as teorias.

## 1. Teoria da Relatividade Especial

### 1.1. Movimento Relativo

Responda rápido, nesse exato momento, você está se movimentando ou parado? E se caso você estiver sentado, confortavelmente, em uma cadeira, enquanto lê o livro, e eu lhe disser que, na verdade, você está percorrendo 30km a cada segundo que passa?

Dependendo do ritmo da sua leitura (o da maioria das pessoas é quatro palavras por segundo), enquanto lê somente essa pequena frase, você já terá percorrido 210 km! Pode parecer loucura, mas, de fato, mesmo você estando sentado e estudando agora, também está se movimentando a aproximadamente 30km/s. O que acontece é que estamos usando referenciais diferentes para determinar nossos movimentos e velocidades. Quando digo que o seu movimento é de 30km/s, tenho como referencial o Sol, o qual é orbitado pelo nosso planeta que executa o movimento de translação ao seu redor, aproximadamente, nessa velocidade.<sup>33</sup> Como somos habitantes da Terra, também estamos realizando esse movimento. Se você respondeu no início que estava parado, foi porque tinha como referencial (mesmo que de forma inconsciente), provavelmente, o chão ou a cadeira onde está. Dessa forma, chegamos a uma conclusão de que, para determinar movimentos, velocidades e posições dos corpos, é necessário que tenhamos primeiramente referenciais. Se vou dizer que algo está p

*Uma pessoa caminhando dentro de um ônibus, o qual acabou de partir de uma estação rodoviária, e se afasta dela a 80km/h, está se dirigindo à cabine do motorista para solicitar uma informação sobre o horário da sua chegada ao seu destino. Em relação à sua poltrona, a pessoa caminha a 1m/s para chegar ao motorista. Em relação à estação, a pessoa está a 83,6km/h.*

u em movimento) é necessário especificar em relação a que referencial. Note, neste próximo exemplo, como todas os movimentos e velocidades possuem seus referenciais:

Outro exemplo que pode demonstrar esse conceito de relatividade do movimento é você imaginar que está parado em relação a uma linha ferroviária, há alguns metros dela. Então surge um trem, que vai passando e você nota um amigo dentro de um dos vagões. Ele segura uma maçã e a joga para o alto, deixando-a cair de volta nas mãos dele. Se, nesse momento, você perguntar para ele qual a trajetória a maçã percorreu, ele responderá que se trata de uma linha reta, pois a maçã subiu e desceu, executando uma trajetória retilínea. Mas, para você, que observa **de outro referencial** (fora do trem), a maçã descreveu uma parábola no ar.

---

<sup>33</sup> Um fato interessante - o Sistema Solar também se movimenta em relação ao centro da galáxia, aproximadamente, a 240 Km/S.



Fonte: do autor.

Ambas observações em relação às trajetórias estão corretas em seus respectivos referenciais. Este é mais um exemplo do princípio de relatividade do movimento. Consegue pensar em outro?

O conceito de relatividade não foi proposto por Einstein. Na verdade, era uma ideia que foi desenvolvida primeiramente por Galileu<sup>34</sup> entre os séculos XVI e XVII, e é essencial que a entendamos para compreender a Relatividade Especial. Vamos ao c  
o

*Referenciais inerciais são quaisquer sistemas de referenciais, os quais se movem com velocidade constante (movimento uniforme) entre si.*

i  
to de referencial inercial.

Você, parado em relação à linha ferroviária, enquanto o trem passa sobre ela com velocidade constante de 80km/h, em relação a você, forma um sistema de referenciais inerciais juntamente com o trem. Para você, o trem é um referencial inercial (você o vê se movendo com velocidade constante), e para algum passageiro do trem ou o maquinista, você também é um referencial inercial (se algum deles olha pela janela, verá que você é quem parece se afastar deles com uma velocidade constante de 80km/h). Se você estivesse caminhando em relação ao sul, a 1 m/s constantes, enquanto o trem se dirigia para o norte, a 60kmh constantes, também formaria com ele um sistema de referenciais inerciais. Assim, para determinar se referenciais são inerciais ou não entre si, é preciso saber se estão a velocidades constantes, um em relação ao outro.

## 1.2. Os princípios da Teoria Especial da Relatividade

<sup>34</sup> Visite o site da Universidade Federal do ABC para mais detalhes - <http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/a-relatividade-de-galileu/>

Vamos supor que você está viajando em um ônibus com uma velocidade constante de 100km/h, em relação a um ponto qualquer de uma longa estrada em linha reta. Pense que se trata de uma estrada ideal, ela não possui buracos, ondulações e nem qualquer tipo de irregularidade no asfalto, de modo que sua viagem é suave e você não sente qualquer perturbação vinda da pista ou até mesmo dos motores e dispositivos do ônibus. Pela janela, você observa as inúmeras árvores, lado a lado, que cercam todo o comprimento da estrada. Durante essa observação, de repente, vem uma sensação diferente – as árvores parecem correr para longe de você! Se trata de algo muito comum de acontecer nesse tipo de situação. Seguindo essa lógica, existiria algum experimento que pudesse ser feito para determinar que é você quem está se movimentando ao invés das árvores? Segundo a teoria de Einstein, não! O primeiro postulado nos diz que para referenciais inerciais as observações dos mesmos fenômenos físicos devem ser sempre iguais. Imagine que o ônibus que você está não possui mais janelas. Ele está viajando a 80km/h, mas você não sabe disso. Consegue realizar algum experimento que te mostre que você está parado ou em movimento? Você pode tentar vários, com blocos, pêndulos e o que mais quiser, mas será impossível provar que você

Primeiro postulado:

*As leis da natureza são as mesmas para todos os referenciais inerciais, e não existe um referencial inercial preferível a outro.*

movimento ou em repouso.

O segundo postulado diz respeito à velocidade da luz<sup>35</sup>. Desde jovem, Einstein era intrigado com os fenômenos luminosos, e gostava de imaginar como seria se pudesse viajar ao lado de um feixe de luz<sup>36</sup>. Passava horas imaginando e explorando quais as consequências, caso isso fosse possível. Quando já adulto e realizando seus estudos e cálculos que resultariam em sua teoria, ele postulou que a luz possuía velocidade constante:

<sup>35</sup> Representada pela letra  $c$ . O valor oficial para esta grandeza é 299 792 458 m/s, e é muito comum se utilizar a aproximação de 300.000 Km/h.

<sup>36</sup> Para saber mais, consultar o livro *Física Conceitual* de Paul Hewwit, 11ª edição, p. 625.

Segundo postulado:

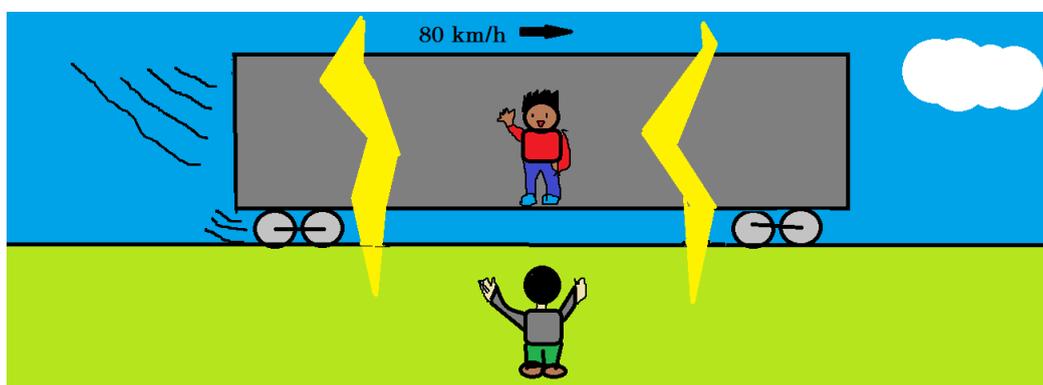
*A velocidade de propagação da luz no vácuo é a mesma para qualquer observador situado em um referencial inercial.*

Se você estivesse viajando em um foguete pelo espaço e outra nave viesse em sua direção (ambos em velocidades constantes) emitindo pulsos de luz, você mediria  $c$  como sendo a velocidade dos pulsos. Caso a nave estivesse se afastando, você também encontraria  $c$ , como valor da velocidade da luz.

Na década anterior, no ano de 1887, dois físicos realizaram um experimento em que haviam encontrado essa mesma constância para a velocidade da luz. O experimento de Michelson-Morley<sup>37</sup> tinha a intenção de investigar a existência do suposto “éter”, uma substância em que se acreditava permear todo o espaço. Medindo as velocidades de raios luminosos que vinham de encontro à Terra, enquanto ela se movia de encontro a eles, e também enquanto ela se movia no sentido oposto, eles encontraram o resultado de que a velocidade desses feixes luminosos não se alterava. Em outras palavras, a velocidade da luz era a mesma, não importando se iam de encontro ou se afastavam da fonte emissora. Não é possível afirmar se Einstein sabia da existência do experimento e seus resultados.

### 1.2.1. Simultaneidade

Voltemos à situação em que você está parado em relação a uma linha ferroviária, enquanto um amigo passa em um trem. Imagine que a velocidade constante desse trem é muito grande, superior em mais de dez vezes a de 80km/h que falamos antes. No exato momento em que vocês dois estão alinhados entre si, dois raios caem, simultaneamente, a distâncias iguais do ponto onde vocês estão alinhados:



Fonte: do autor

<sup>37</sup> Para conhecer mais, acesse o site da Universidade Federal do ABC - [http://propg.ufabc.edu.br/mnpf-sites/relatividade-restrita/o-experimento-de-michelson-morley/](http://propg.ufabc.edu.br/mnpf/sites/relatividade-restrita/o-experimento-de-michelson-morley/)

Você percebeu os dois raios como acontecendo ao mesmo tempo, pois ambos viajaram à mesma velocidade e por uma mesma distância. Dessa forma, chegaram juntos até seus olhos. Mas, e seu amigo? Ele lhe dirá que o raio que caiu no mesmo sentido em que o trem viaja foi o primeiro a acontecer, e só instantes depois o outro ocorreu. Ambos os raios têm a mesma velocidade (eles viajam à velocidade da luz), mas percorreram distâncias diferentes, pois o raio da direita no desenho acima percorreu um caminho menor do que o outro, visto que o trem se desloca em sua direção, diminuindo a distância. Interessantemente, tanto você quanto seu amigo estão corretos em suas observações, a partir dos seus respectivos referenciais, o que nos leva a concluir que:

*Eventos que são simultâneos para um referencial, não são, necessariamente, simultâneos para outro que se move em relação ao primeiro.*

No seu referencial, os raios aconteceram ao mesmo tempo, mas, no referencial do seu amigo, um deles aconteceu primeiro do que o outro. Esse é o conceito da simultaneidade, o qual é uma das consequências da Teoria da Relatividade Especial.

### 1.2.2. Espaço-tempo

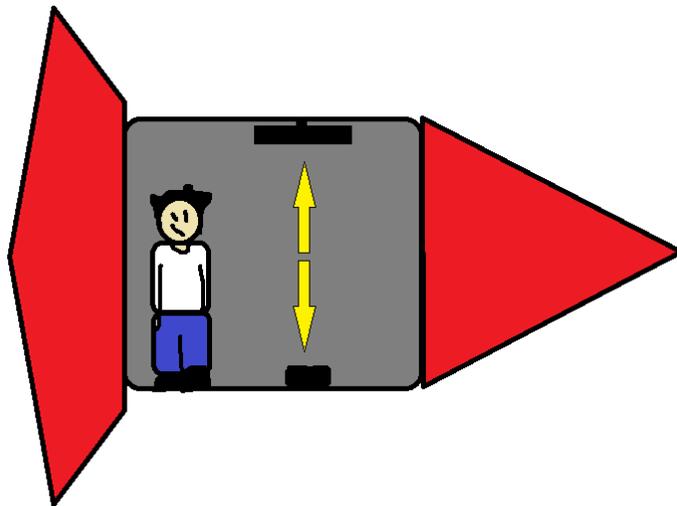
A física newtoniana considera espaço e tempo como grandezas separadas na natureza. Einstein nos mostrou em sua teoria que, na verdade, ambos são dependentes e se influenciam. Embora nossa concepção cotidiana é a de um espaço tridimensional (por exemplo, em coordenadas  $x, y$  e  $z$ ), na verdade, habitamos um *espaço-tempo* quadridimensional, sendo o tempo a quarta dimensão. Ao nos referirmos à localização de um objeto, então, seria correto dizer, por exemplo, que a sua localização está em  $(x, y, z, t)$  sendo “ $t$ ” o instante de tempo naquele referencial. Como veremos mais adiante, devido à velocidade da luz ser constante, independente do referencial inercial, surgem consequências nas medições de distâncias e tempos. Basicamente, como a definição de velocidade é *distância percorrida / tempo decorrido*, e estamos nos referindo a uma velocidade que não se altera ( $c$ ), quando uma variação ocorrer em quaisquer uma das outras duas grandezas, a outra grandeza também deverá sofrer mudanças. Temos um *espaço-tempo*! (Note que é a velocidade da luz que estabelece a relação entre os dois)

Esses efeitos serão mais significativos para nós quando estivermos lidando com objetos que possuem velocidade extremamente altas, próximas à velocidade da luz (também conhecidas como velocidades relativísticas). Em situações do nosso cotidiano, não estamos acostumados a lidar com esses tipos de situações. Para entendermos como o espaço-tempo se altera entre diferentes referenciais, é necessário aprender dois outros conceitos importantes: a dilatação do tempo e

a contração dos comprimentos – consequências diretas dos postulados da Relatividade, mostrados acima.

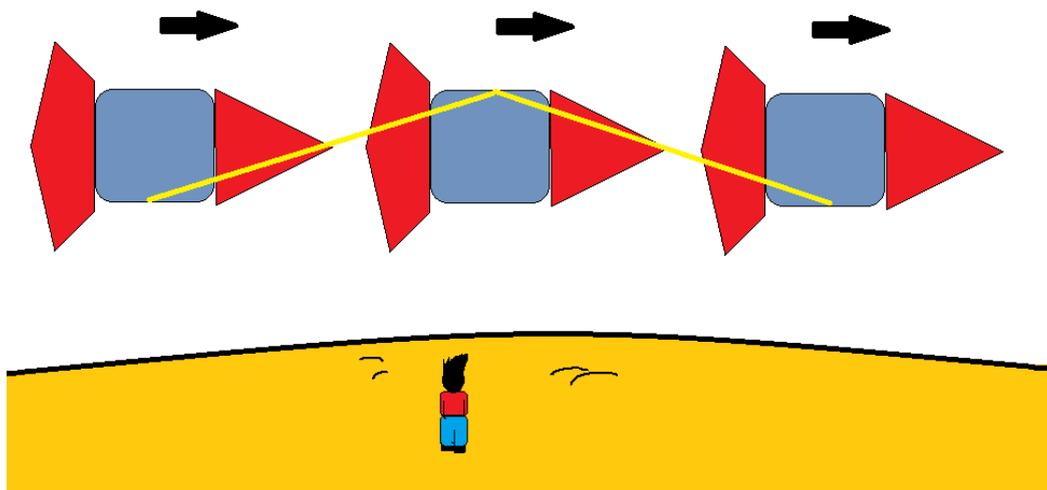
### 1.2.3. Dilatação temporal

Imagine que você está a bordo de uma nave, viajando pelo espaço, com velocidade  $v$ . Nela, existe um dispositivo que mede o tempo, baseado na emissão, reflexão e absorção de pulsos de luz. Um pulso é emitido de um equipamento que está localizado no chão da nave, chega até o teto, onde é refletido para o chão de e o mesmo equipamento o absorve, lançando novamente o pulso, de forma sincronizada e contínua. O sistema todo funciona como um relógio de luz, sendo o tempo entre a emissão do pulso e a sua recepção pelo mesmo equipamento que o lançou, a unidade básica de tempo (em um relógio comum, a unidade básica são os segundos). Você está dentro da nave, observando todo o processo, e chamaremos esse conjunto de referencial 1 (seu referencial, note que você está em repouso em relação à nave).



Fonte: do autor

Sobre a superfície de um planeta qualquer, está seu amigo, que o observa passando a bordo da nave. Ele, no planeta (referencial 2), é um referencial inercial em relação a você e vice-versa. Quando ele observa o seu “relógio de luz”, enxerga um fenômeno um pouco diferente do que você está enxergando. No seu referencial, o pulso de luz descreve uma linha reta, com subida e descida (figura acima). Vista a partir do referencial do seu amigo (referencial 2), a luz percorre uma distância maior, uma vez que a nave se move em relação a ele (figura a baixo):



Fonte: do autor.

Como vimos no segundo postulado, não importa qual seja o referencial, a luz sempre terá velocidade igual para ambos (estamos considerando os dois referenciais no vácuo, portanto a velocidade da luz é  $c$ ). Quando a observação foi realizada a partir do referencial 2, a luz é vista como percorrendo uma distância maior da percorrida no referencial 1. Portanto, a *medição do tempo*, feita a partir do referencial 2, também encontrará um valor **maior** para essa grandeza:

#### Referencial 1:

$$c = \frac{d1}{t1}$$

Onde  $d1$  é o valor da distância medido por você que está no referencial 1. Igualmente é  $t1$ , valor do tempo decorrido medido no referencial 1.

#### Referencial 2:

$$c = \frac{d2}{t2}$$

Onde  $d2$  é o valor da distância percorrida medido pelo seu amigo que está no referencial 2. Igualmente  $t2$ , valor medido de tempo decorrido a partir do referencial 2.

Mas como vimos:

$$d2 > d1$$

e

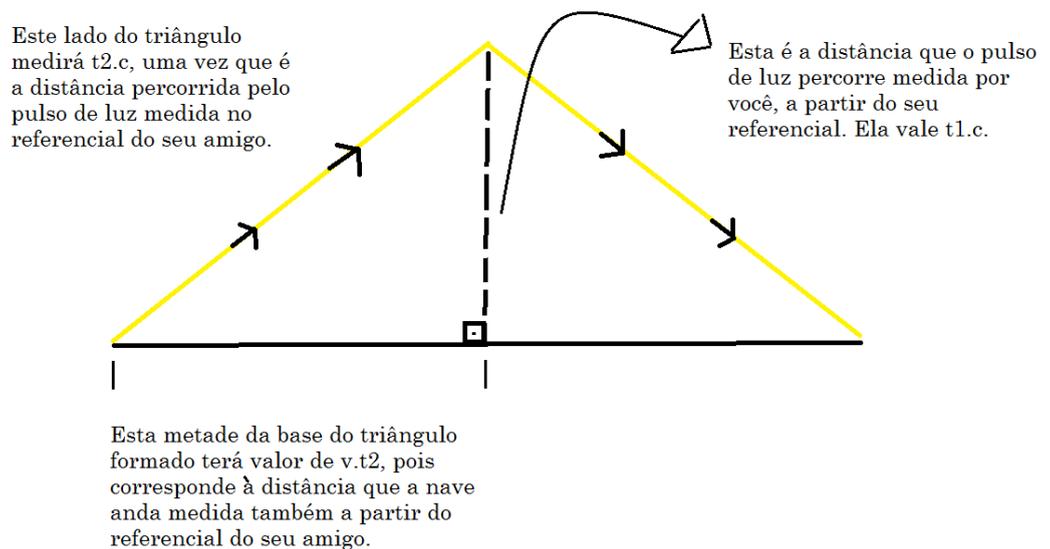
$$c \text{ não varia}$$

Portanto:

$$t_2 > t_1$$

Isso quer dizer que seu amigo mede intervalos de tempo muito maiores para o seu referencial do que os que você mede. Você poderia dizer a ele que o tempo para um pulso de luz ir do chão até o teto, ser refletido e voltar para o aparelho no chão é de 1 segundo; enquanto que seu amigo, dependendo da velocidade da nave em que você está, lhe dirá que o tempo, na verdade, é de 2 segundos. Resumindo, ele vê o tempo passar para você em um ritmo mais lento do que o tempo que você mede no seu referencial.

Através de álgebra e geometria podemos entender mais a fundo esse conceito:



Utilizando o Teorema de Pitágoras para o triângulo retângulo formado na figura acima:

$$t_2^2 \cdot c^2 = v^2 \cdot t_2^2 + t_1^2 \cdot c^2$$

$$t_1^2 \cdot c^2 = t_2^2 c^2 - v^2 \cdot t_2^2$$

$$t_1^2 = [t_2^2 \cdot (c^2 - v^2)] / c^2$$

$$t_1^2 = t_2^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$t_2 = \frac{t_1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Ou:

$$t_2 = \gamma \cdot t_1, \text{ onde } \gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Para você, dentro da nave, a medição do valor do tempo é  $t_1$  (também chamado de tempo próprio). Note como ele difere de  $t_2$  (tempo medido a partir do referencial 2) pelo fator  $\gamma$ , conhecido como fator de Lorentz. Esse nome é em homenagem a Hendrick Lorentz, o cientista que encontrou essa relação matemática ao tentar explicar o experimento de Michelson-Morley. Embora ele tenha chegado ao valor primeiro do que Einstein, ele não tinha uma explicação física para o fenômeno. Einstein chegou no mesmo fator tempos depois, juntamente com a sua interpretação física.

Ao analisar o fator de Lorentz, é fácil perceber como ele nunca será menor do que 1 e, assim, no caso do tempo, provocará a sua dilatação (quando  $\gamma > 1$ ). Como  $v$  é a velocidade do objeto que está no outro referencial (no exemplo, a velocidade da sua nave em relação ao seu amigo), a fração  $(v^2/c^2)$  contida em  $\gamma$ , será sempre menor do que 1, devido à velocidade da luz ser muito superior a qualquer outra que conhecemos (não existe velocidade de informação/matéria

### Caso 1

*A Fórmula 1 é um esporte conhecido por seus carros ultra potentes e tecnológicos. Os recordes de velocidades chegam muito próximos a 400km/h . Imagine um carro a 400km/h! Pois bem, nosso carro de Fórmula 1 viajará com essa velocidade  $v = 400\text{km/h}$  (constante) por uma longa pista em linha reta. A bordo dele, o piloto marca o tempo  $t_0$ . Você está parado em relação ao carro, também marcando o tempo  $t$ . Como o tempo  $t$  e  $t_0$  se relacionam?*

$t_0$  é o tempo próprio, ou seja, o tempo medido por quem está no referencial que se move.  
 $t$  é tempo medido por você a partir do seu referencial.

Vimos que:

$$t = \gamma \cdot t_0$$

Onde:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Resolvendo  $v^2/c^2$  para  $v = 400\text{km/h}$ :

$$\frac{400^2}{300000^2} = 0.0000017$$

Resolvendo  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{1}{1 - 0.0000017} = \frac{1}{0.9999} = 1.0001$$

Ou seja:  $t = 1.0001t_0$ , que significa, por exemplo, quando o piloto marcar 1 segundo no relógio dele, você verá o mesmo relógio marcar 1.0001 segundos. Uma diferença pouco significativa de 0.0001 segundo. Resolvemos minuciosamente apenas para mostrar que o efeito da dilatação temporal acontece, só que a velocidades baixas, que não se comparam a da luz, ele é insignificante para nossa percepção. Perceba que quando resolvemos a fração  $v^2/c^2$ , por  $v$  apresentar um valor menor que  $c$ , o resultado foi praticamente 0. Quando isso acontece, usamos o arredondamento “para 0”, em outros termos, dizemos que o resultado *tende* a zero. Sempre que for aplicar alguma fórmula que tem o fator de Lorentz, fique atento para esse termo  $v^2/c^2$ , quando  $v$  for muito inferior a  $c$ , substitua a fração por zero.

maior do que  $c$ , como veremos adiante). Dessa forma,  $\gamma$  nunca possuirá um valor negativo, fazendo com que o  $t_1$  (tempo próprio) sofra dilatação. Cabe

ressaltar, mais uma vez, que essa dilatação temporal será significativa para nós quando o objeto possuir velocidade  $v$  relativística (próxima da luz)! Vejamos um exemplo:

### Caso 2

*Estamos em um futuro onde a tecnologia evolui a ponto de sermos capazes de construir naves espaciais que chegam muito próximas à velocidade da luz. Um amigo embarca em uma dessas e viaja à velocidade constante de 87% de  $c$  ( $0,87c$ , ou, aproximadamente,  $261.000\text{km/h}$ ). Ele marcará o tempo em um relógio ( $t_0$  tempo próprio), e você marcará o seu ( $t$ ), enquanto fica em repouso em relação ao referencial do seu amigo. Os relógios são idênticos e começam a marcar o tempo sincronizadamente. Como é a relação entre os valores de tempo medidos por vocês?*

Resolvendo mais diretamente:

$$t = \gamma \cdot t_0$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,87c)^2}{c^2}}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,7569}} = \frac{1}{0,4930} = 2,0283$$

Portanto:

$$t = 2,0283 \cdot t_0$$

Quando seu amigo marcar 1 minuto, no seu relógio já se passaram, aproximadamente, 2. Vocês se falam através de um comunicador e, ao ser questionado por quanto tempo já está viajando, seu amigo responde que são 2h. Você olha o seu relógio e ele marca apenas 1h.

Esse é um dos efeitos gerados pela Relatividade Especial. Se você pudesse, **a partir do seu referencial**, observar as coisas acontecendo dentro da nave, veria tudo em câmera lenta, pois o tempo no referencial do seu amigo se *dilatou* em relação ao seu. Mas como seriam as coisas para ele? Ele veria tudo dentro da nave acontecendo lentamente, como em um replay sendo reproduzido em baixa velocidade? Não! Para ele, tudo acontece normalmente e não teria absolutamente nada de anormal. As diferenças só seriam notadas quando fossem **comparadas entre os dois referenciais**.

#### 1.2.4. Paradoxo dos gêmeos

Baseados na ideia da dilatação temporal, surge um paradoxo conhecido como “Paradoxo dos gêmeos”. Pense em dois irmãos gêmeos univitelinos<sup>38</sup> de 20 anos de idade. Eles decidem fazer um teste utilizando a dilatação temporal da

<sup>38</sup> Gêmeos idênticos, gerados a partir de um único óvulo e têm a sua gestação na mesma placenta. Possuem genomas iguais.

Relatividade Especial. Combinam que, um deles ficará na Terra, enquanto o outro fará uma viagem a bordo de uma nave, com velocidade constante, pelo espaço e retornará tempos depois. Quando se reencontrarem, estarão com a mesma idade ou alguém terá envelhecido mais do que o outro? Antes de responder, lembre-se do primeiro postulado que estudamos! Para o gêmeo que ficou na Terra, a nave do seu irmão está em movimento (com velocidade constante) e ele a vê se afastando do planeta gradativamente, de forma que afirmará que o seu irmão retornará mais jovem, pois ele estava em movimento. Porém, de acordo com o primeiro postulado, é perfeitamente possível o irmão da nave afirmar que quem estará mais novo é o que ficou na Terra, pois, para ele, é o planeta que vai se afastando na mesma velocidade constante, enquanto a nave está em repouso. Meio doido tudo isso, mas seguindo os postulados e leis da teoria (é como um cientista deve agir) são suposições perfeitamente aceitáveis e que não violam nenhum princípio da teoria. No entanto, apresentam resultados que divergem! Isso é um paradoxo! Quem está correto? A menos que prestemos atenção aos detalhes dessa situação, não conseguiremos uma resposta correta. A chave para a solução está em compreender que o gêmeo que está na nave não só *vai*, mas também *retorna* para a Terra. Durante esse processo, existem dois acontecimentos que devem ser levados em conta, pois interferem diretamente em nossa análise. O primeiro é o fato de que para retornar, é imprescindível que a nave sofra aceleração, nem que por alguns poucos instantes, para mudar seu sentido e viajar de volta para a Terra. No instante em que isso ocorre, o referencial muda, e deixa de ser inercial. A medida em que retorna e sua velocidade é constante de novo, ele está em outro referencial de espaço-tempo diferente do que ocupava quando fazia o caminho de ida. Assim, ele, primeiramente, se afasta da Terra, sofre aceleração ao mudar de sentido, e volta em direção ao planeta. Como a velocidade da luz não se altera, independente do movimento uniforme do observador ou da fonte, um fenômeno irá acontecer durante a viagem de ida e volta desse gêmeo.

Imagine que na Terra ficou um emissor de pulsos luminosos muito potente. Ele emite um pulso a cada 10 minutos segundo o relógio do irmão que ficou no planeta. Na nave, existe um receptor específico que detecta quando um pulso chega até ele. Vamos supor que a velocidade da nave é tal que ela recebe um pulso com o dobro do período de emissão, ou seja, o pulso luminoso chega à nave 20 minutos depois que foi emitido (contados no relógio da nave). De acordo com o **relógio da nave**, a viagem irá durar 2 horas, sendo desprezível o tempo de manobra para virar e retornar. Dessa forma, durante a primeira hora de ida, a nave recebeu 3 pulsos de luz (1 a cada 20 minutos). Quando ela retorna, a situação se inverte, pois, ela passa a receber 1 pulso a cada 5 minutos (sendo 12 nesse tempo). Quando o gêmeo retorna à Terra, ele confere o contador de pulsos e vê que, ao todo, recebeu 15 pulsos de luz. Mas, de acordo com o relógio terrestre, o tempo para emitir 15 pulsos é 2 horas e 30 minutos! Sendo assim, enquanto que a viagem para o gêmeo da nave durou 2 horas, para

o seu irmão se passaram 2 horas e 30 minutos e ele é quem será o mais velho dos dois<sup>39</sup>.

Para a resolução do “Paradoxo dos gêmeos” é essencial entender que o irmão que permaneceu no planeta Terra se manteve todo o tempo em apenas um referencial. O outro alternou entre dois referenciais, separados pela aceleração (o ato de frear para alterar o movimento) na mudança de sentido ao retornar. Podemos dizer, com outras palavras, que o gêmeo viajante experimentou **duas regiões diferentes do espaço-tempo** e seu irmão, na Terra, apenas uma. Em cada uma dessas regiões, o ritmo do tempo se passou de uma maneira diferente. Incrível!

### 1.2.5. Contração dos comprimentos

Outra consequência muito importante da Relatividade Especial é a contração dos comprimentos (também chamada de contração dos espaços). Ela é expressa na seguinte equação:

$$L = L_0/\gamma$$

Onde,  $L$  é o comprimento do objeto que está sendo observado quando ele está se movimentando com velocidade  $v$  e  $L_0$  é o seu comprimento quando parado. O fator de Lorentz é  $\gamma$  (note que agora ele divide  $L_0$ , provocando diminuição do seu valor).

Essa equação mostra a relação matemática entre as medidas de **comprimento** que um observador, em um determinado referencial inercial, faz em relação a um objeto, o qual está em outro referencial inercial em relação ao observador. Quando o objeto está parado em relação ao observador, este mede o seu comprimento como sendo  $L_0$ . Se o objeto se movimenta com velocidade constante  $v$  em relação ao observador, este medirá um comprimento menor  $L$  do objeto. Assim, como acontece na dilatação temporal, os resultados dessa contração só serão expressivos para nós quando a velocidade do objeto  $v$  for próxima à velocidade da luz. Vejamos um exemplo:

---

<sup>39</sup> A dilatação temporal acontece em “todos os relógios”, sejam eletrônicos, biológicos ou químicos. As células do corpo do gêmeo que ficou na Terra realmente estarão mais envelhecidas do que as do seu irmão.

**Exemplo:**

O comprimento medido de uma nave espacial em repouso é 100 metros. Qual será o seu comprimento medido por um observador em repouso em relação a ela, enquanto ela se movimenta a uma velocidade constante de 87% do valor de  $c$  (velocidade da luz)?

Resolvendo:

$$L = \frac{L_0}{\gamma}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,87c)^2}{c^2}}}$$

Como já resolvido no Caso 2 da dilatação temporal,  $\gamma$  terá resultado igual a 2,0283.

Portanto:

$$L = \frac{L_0}{2,0283}$$

$$L = \frac{100m}{2,0283} = 49,30m$$

Ou seja, o observador em repouso enxergará a nave como tendo apenas a metade do seu comprimento original quando estava parada.

Duas ressalvas são importantes nesse assunto de contração dos comprimentos. A primeira é que esse fenômeno acontecerá apenas na **direção** em que o movimento do objeto se desenvolve, ou seja, se ele se move horizontalmente, a contração se dará apenas nessa direção.

A outra diz respeito à *natureza* dessa contração. Não é o comprimento em si do objeto que se contraiu sozinho, mas, na verdade, é o espaço-tempo em que ele está contido que diminuiu. O espaço tempo no referencial do objeto fica reduzido em relação ao espaço-tempo do observador em repouso. Uma analogia pode ser feita se pensarmos em uma criança que desenha um carrinho na superfície de uma bexiga murcha. Depois de desenhá-lo, ela assopra o balão até ele ficar bem cheio e grande. O desenho, naturalmente, também aumentou. *Não foi a criança que o desenhou um carrinho maior*, mas a superfície em que ele estava contido que se distendeu, fazendo-o também aumentar. No caso da contração dos comprimentos, o objeto tem o seu diminuído porque o próprio espaço-tempo se contraiu.

### 1.2.6. Momentum relativístico

A expressão da física clássica para o momentum pode ser escrita como:

$$p = m \cdot v$$

Em que o  $p$  é o momentum (quantidade de movimento) do corpo em questão,  $m$  a sua massa e  $v$  a velocidade.

Também temos a relação entre  $p$  e o impulso  $I$  no mesmo corpo:

$$I = F \cdot \Delta t = \Delta p$$

Onde  $F$  é força necessária, juntamente com o período de tempo  $\Delta t$ , para causar a variação do momentum  $\Delta p$  do corpo em movimento.

Analisando essa equação, podemos supor que, dadas as circunstâncias, aumentando indefinidamente o impulso, podemos aumentar indefinidamente também a variação do momentum, o que significaria o aumento indefinido da velocidade (visto que a massa não sofreria alteração). Dessa forma, atingir velocidades espetaculares, como a da luz, seria uma tarefa apenas de engenharia e muita tecnologia, certo? Na verdade, Einstein mostrou que não é bem assim. O fator de Lorentz também aparecerá na equação do *momentum relativístico*  $p_r$ :

$$p_r = \gamma \cdot m \cdot v$$

Novamente, as consequências serão mais significativas para nós, quando o objeto estiver desenvolvendo velocidade relativística. Em nosso cotidiano, por exemplo, na engenharia de automóveis e aviões, esse efeito é desprezível.

*A medida que a velocidade de um corpo aumenta, de acordo com a Teoria da Relatividade Especial, seu momentum também aumenta, ficando cada vez mais difícil atingir velocidades superiores.*

## 2. Teoria da Relatividade Geral

### 2.1. Sistemas de referência acelerados e não acelerados

Nos exemplos dos tópicos anteriores, em que usamos trens, carros e naves, sempre atribuímos a eles velocidades constantes durante toda a análise da situação. Isso fazia parte para se determinar *referenciais inerciais*, os quais são essenciais no desenvolvimento dos conceitos da Relatividade Especial. Trabalhando agora as ideias da Relatividade Geral, nossos referenciais vão deixar de ser não-acelerados e passarão a sofrer mudanças de velocidade (referenciais acelerados). Estaremos a bordo de uma nave, viajando pelo sistema solar. A gravidade mínima faz você flutuar pelo compartimento interior. A nave está equipada com um motor de propulsão que, se acionado, a impulsionará no sentido desejado. Nossa viagem está tranquila, a nave não possui janelas e a movimentação está tão suave (velocidade constante e sem perturbações) que você flutua e tem a sensação de que a nave está parada. De repente, o motor é acionado e você é impulsionado contra uma das paredes do compartimento, a qual se transforma *na seu chão*. Você já não está mais voando solto pelo compartimento, mas está de pé, apoiado no que antes era a *parede* do fundo da nave, sentindo o seu peso. A aceleração é tal que você se sente como se estivesse na Terra, com o mesmo peso que tem no planeta. Qualquer objeto que você soltasse das mãos cairia da mesma maneira que outro objeto, em condições iguais de altura, cairia em outra experiência realizada na Terra (desconsideramos possíveis diferenças entre as duas atmosferas). Como eu disse no início que a nave não possuía janelas, como você poderia afirmar que ela, na verdade, não está estacionada na Terra ao invés de estar viajando pelo sistema solar? Einstein nos mostrou, através da Teoria Geral da

Relatividade, que não existem diferenças entre os resultados de experimentos realizados em um campo gravitacional newtoniano<sup>40</sup> dos resultados para os mesmos experimentos, caso estes fossem realizados em referenciais acelerados. Um campo gravitacional provoca os mesmos efeitos do que um referencial acelerado, ou seja, gravidade e aceleração são equivalentes.

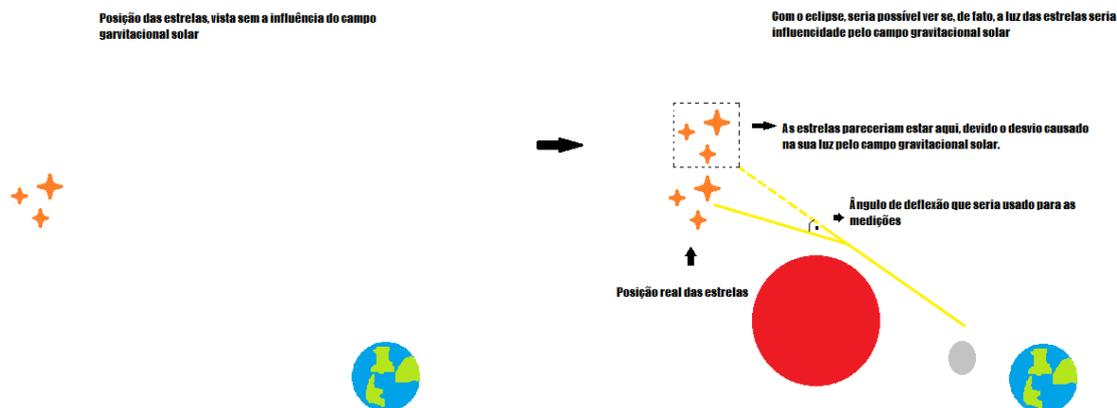
## 2.2. A deflexão da luz

Um dos fatos que torna a Teoria Geral da Relatividade revolucionária é que os fenômenos descritos anteriormente sobre a gravidade, aplicados a situações mecânicas (objeto caindo), podem ser estendidos a todos os fenômenos de outra natureza, assim como o eletromagnetismo e a óptica. No exemplo anterior, o objeto cai de maneira idêntica nos dois experimentos. Como vimos, no referencial acelerado, foi devido à aceleração do motor, o qual impulsionou o *chão* para cima, que objeto e *chão* se encontraram. Na Terra, foi devido à *força da gravidade* (teoria newtoniana) que o objeto caiu. O que aconteceria se ao invés de um objeto qualquer, estivessemos falando de um feixe de luz? Seguindo o exemplo da nave acelerando para cima, um feixe de luz que fosse atravessar a sala em que você está, de lado a lado, descreveria uma parábola descendente (o comprimento e/ou velocidade da nave teriam que ser *exageradamente* grandes para você perceber o fenômeno!). À medida que o raio vai avançando, sua distância com o chão que está sendo impulsionado para cima vai diminuindo, formando uma trajetória parabólica. Assumindo que não existem diferenças entre as observações entre um referencial acelerado e um campo gravitacional newtoniano, portanto, o mesmo deve acontecer com a luz se submetida à gravidade.

As constatações experimentais para o fenômeno da deflexão (curvatura) da luz submetida a um campo gravitacional vieram no ano de 1919, durante um eclipse solar. Quando acontece esse fenômeno, a luz solar fica ofuscada no planeta Terra, e se torna mais fácil observar as estrelas que estão posicionadas “atrás” do Sol (a luz solar é tão intensa que causa interferência. Somente com o eclipse, a região do *céu profundo*, adjacente ao Sol, ficaria visível). Dessa forma, seria possível comparar a posição delas neste momento (quando a sua luz passasse perto do sol) com o de quando a trajetória da luz proveniente delas não sofreria influência alguma da gravidade causada pela grande massa solar. De acordo com a teoria, seria possível observar o fenômeno da deflexão da luz pela gravidade caso ela fosse submetida a um campo gravitacional intenso. O eclipse solar de maio de 1919 representava essas condições ideais – o céu profundo da região das estrelas estudadas ficaria com boa visibilidade e, ao mesmo tempo, a luz proveniente delas passaria perto do Sol. O resultado experimental que comprovaria que a luz sofreu deflexão seria se houvesse uma determinada diferença entre as posições medidas dessas estrelas em dois momentos diferentes, um com o eclipse e em outro, em outra época, em que não houvesse a influência solar. O desenho abaixo mostra esse raciocínio:

---

<sup>40</sup> Campo de força gerado entre um corpo com massa  $m_1$ , com outro de massa  $m_2$ . Chamamos  $F$  de *força da gravidade*  $\rightarrow F = G.m_1.m_2/r^2$ , em que  $G$  é a constante gravitacional de valor  $6,74 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$  e  $r$  é a distância entre os dois corpos.

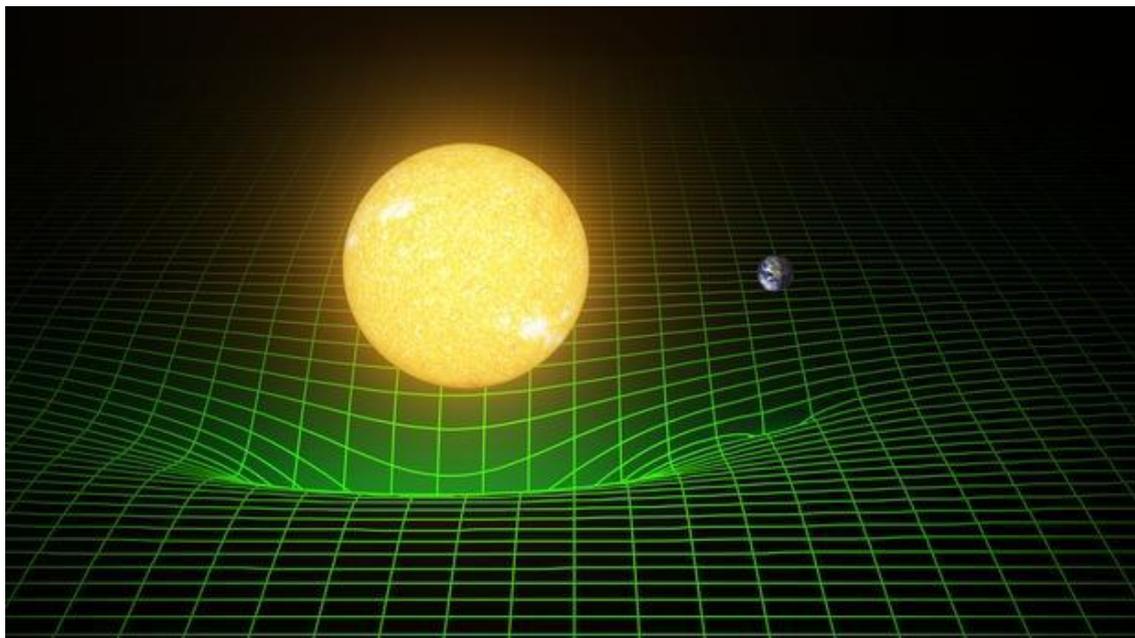


Fonte: do autor

Os cálculos de Einstein previram que aconteceria um desvio de 1,75 segundos de arco (valor do ângulo). As observações aconteceram no dia 29 de maio, nas cidades de Sobral, no Ceará, e na Ilha de Príncipe, no continente africano<sup>41</sup>. Tempos depois, com as fotografias reveladas e descartadas aquelas que não poderiam ser usadas por causa da má qualidade, os cálculos foram feitos e revelaram o mesmo valor encontrado por Einstein, e sustentaram a teoria.

Einstein também forneceu a explicação para o fenômeno. A gravidade não deveria ser interpretada como uma força, mas a própria *curvatura* do espaço-tempo. Qualquer massa *deforma* o espaço-tempo à sua volta, tornando a sua geometria curva. Corpos mais massivos produzem maior curvatura e os efeitos da sua gravidade são mais sentidos do que de corpos menos massivos. No caso do experimento envolvendo o eclipse, podemos entender que a luz se desviou não em razão de uma força que o Sol fez sobre ela, mas porque passou em uma região de *espaço-tempo* curvo, devido à massa solar. Você pode se perguntar, “então porque não é possível ver esse efeito aqui na Terra, já que o planeta *também é muito grande*”? Mesmo que *grande* para nossos padrões, a curvatura que ele cria ao seu redor não se compara com a do Sol, cuja massa é mais de 300.000 vezes superior à da Terra! De fato, a Terra causa desvio na luz, mas é muito pequeno. Você mesmo causa uma deformação do espaço-tempo ao seu redor!

<sup>41</sup> Para saber mais dessa história acesse o artigo “Einstein e o eclipse de 1919”, no site da Sociedade Brasileira de Física - <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/eclipse.pdf>

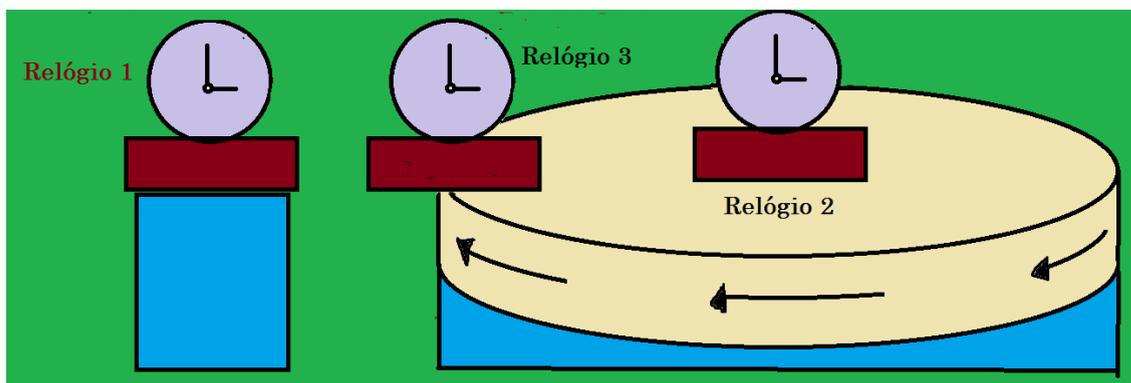


(Fonte: LIGO–Caltech - <https://www.ligo.caltech.edu/image/ligo20160211e>)

Representação gráfica mostrando o espaço-tempo deformado pela massa solar com a Terra percorrendo a geometria curva, o que resulta na sua órbita.

### 2.3. Desvio gravitacional para o vermelho

Para entendermos os efeitos da gravidade sobre o tempo, previstos pela Teoria Geral da Relatividade, vamos recorrer a um exemplo. Pense em três relógios idênticos e sincronizados no momento do início do experimento, conforme a figura abaixo:



O disco sobre o qual estão os relógios 3 e 2 gira, sendo que o 2 ocupa o centro. Dessa forma, o relógio 3 está em movimento em relação ao 1 mas em repouso em relação ao relógio 2 (a distância entre eles não varia). O relógio 1 também está em repouso em relação ao 2. Um observador em repouso, ao lado de 1, analisa todo o sistema. Como vimos na Relatividade Especial, ele vê os relógios 1 e 2 funcionarem no mesmo ritmo. Já o relógio 3 ele vê funcionar com um ritmo mais lento. Um observador colocado no centro do disco, junto ao relógio 2, começa a observar o sistema e também percebe que o relógio 3 funciona mais lentamente em relação ao 2, embora, entre ele e aquele relógio, não exista movimento relativo. Depois de analisar toda a situação, ele percebe que a única diferença entre o seu referencial e o do relógio 3 é

que sobre o relógio 3 age uma força centrífuga<sup>42</sup>. Ao caminhar *no sentido que age a força* sobre o relógio 3, ele nota que o tempo vai se passando mais lentamente naquele relógio. Lembrando que a Relatividade Geral nos diz que não há diferenças observacionais entre estar num referencial acelerado e em um campo gravitacional newtoniano, a conclusão que se pode chegar é que **quando nos deslocamos no sentido que age a força gravitacional, o tempo flui mais lentamente**. Sendo assim, como seria uma situação entre dois irmãos gêmeos idênticos, os quais moram um ao nível do mar e o outro no topo de uma grande montanha? Como é a passagem do tempo para os dois? Algum deles envelhece mais rápido? A resposta é sim! Embora seja uma diferença insignificante, muito menor do que 1 segundo, o tempo passa mais lentamente para o gêmeo que mora ao nível do mar em relação ao seu irmão, pois ele está mais próximo do centro gravitacional do planeta.

O desvio gravitacional da luz para o vermelho é um fenômeno observado que deriva do fato da gravidade desacelerar o tempo. Os átomos são como relógios, sendo a vibração dos elétrons em seu interior como os ponteiros. Quando uma estrela emite luz, ela o faz em frequências específicas (que resultarão nas suas cores). Essas frequências nada mais são do que a frequência de vibração dos elétrons nos seus átomos. Como a gravidade *torna o tempo mais lento*, ela desacelera os elétrons diminuindo a sua frequência de vibração. Uma estrela massiva teria a frequência da sua luz emitida com algum desvio, visto que seu campo gravitacional é intenso. Essa frequência de deslocamento resulta na cor vermelha, a qual possui as frequências mais baixas no espectro de cores<sup>43</sup>, por isso o nome *desvio gravitacional da luz para o vermelho*. Os mesmos átomos da estrela na superfície de um planeta, por exemplo, com menos massa, emitiriam luz sem a sua frequência alterada, portanto não desviada para o vermelho. Na década de 1920 o fenômeno já havia sido observado, mas por problemas técnicos e dificuldades a sua comprovação não foi confiável. Na década de 60, um laboratório da universidade de Harvard conseguiu comprovar o efeito<sup>44</sup>.

#### 2.4. O espaço-tempo e a gravidade

Quando nos referimos a corpos que estão submetidos a campos gravitacionais relativamente fracos entre si, a teoria newtoniana da gravitação é suficiente para realização de cálculos e aplicações de maneira satisfatória<sup>45</sup>. No entanto, para campos gravitacionais intensos, a teoria de Newton não é suficiente e se torna necessária a aplicação da Teoria Geral da Relatividade. Um exemplo disso é o que acontece com o planeta Mercúrio. Por ser o mais próximo do Sol, ele é mais fortemente afetado pelo campo gravitacional do que o restante dos planetas. Um fenômeno que chamava a atenção há tempos era a precessão das órbitas dos planetas. As órbitas são elípticas, tendo o Sol como um dos focos. A precessão é quando o periélio (ponto da órbita em que o planeta passa mais próximo ao sol) é deslocado em alguns graus. Mercúrio tinha uma precessão de sua órbita relativamente grande e os cálculos, utilizando a teoria

<sup>42</sup> Em situações de movimento circular, é força que age do centro para fora da trajetória.

<sup>43</sup> O espectro de cores da menor frequência para a maior – vermelho, laranja, amarelo, verde, azul e violeta.

<sup>44</sup> Ver em *Física Conceitual – Paul Hewwit, 11ª edição, p.660*.

<sup>45</sup> Como curiosidade, pesquise como é a física de satélites e outros veículos espaciais. Você verá que a física newtoniana é a disciplina fundamental dessas aplicações.

newtoniana, não eram suficientes. Para adaptar a teoria com a observação, chegaram a supor a existência de um planeta desconhecido nas redondezas de Mercúrio para tentar explicar as incoerências dos cálculos<sup>46</sup>. Einstein aplicou sua teoria ao problema e, realizando os cálculos, encontrou o valor exato que correspondia à observação do fenômeno (Mercúrio tinha uma precessão de 42 segundos de arco a cada século). Esse também é um dos fatos que comprovam experimentalmente a Teoria da Relatividade Geral.

Portanto, devemos entender a gravidade como sendo o efeito de um espaço-tempo curvo devido à presença de matéria. Os planetas orbitam o sol não em função de uma *força* que os atrai, mas por estarem em um espaço-tempo que foi *deformado* pela massa solar. Sua órbita nada mais é do que seu caminho por um plano inclinado curvo. Toda massa deforma o espaço ao seu redor. Ao seu redor o espaço também está deformado, mas não suficiente para que algum objeto *o orbite*.

Apenas como curiosidade e motivação, colocaremos aqui a equação da gravitação de Einstein. Não se preocupe em entendê-la na forma que está aí, pois ela utiliza partes mais avançadas da linguagem matemática, as quais não fazem parte da nossa abordagem:

$$\underbrace{R_{\mu\nu}}_{\#1} - \frac{1}{2} \underbrace{g_{\mu\nu}}_{\#2} \underbrace{R}_{\#3} + g_{\mu\nu} \underbrace{\Lambda}_{\#4} = \frac{8\pi G}{c^4} \underbrace{T_{\mu\nu}}_{\#5}$$

#1 = Tensor de Curvatura de Ricci

#2 = Tensor Métrico (“métrica”)

#3 = Tensor Curvatura Escalar

#4 = Constante Cosmológica

#5 = Tensor Momento-Energia

Conceitualmente, os termos que estão à esquerda da equação (Tensores de Ricci, Métrico e de curvatura escalar) mais a constante cosmológica (será muito importante no contexto da expansão do Universo, a qual veremos mais à frente) estão relacionados à geometria do espaço-tempo. A parte da direita, a qual contém o tensor momento-energia, como o próprio nome diz, está relacionada a energia-massa (são equivalentes na Teoria Geral da Relatividade) existente no universo. Nessa equação, fica claro a ligação entre a energia-massa e a geometria, sendo que uma está sobre o efeito da outra. Como dito, essa parte é apenas uma curiosidade, não se preocupe em entendê-la a fundo nesse momento.

<sup>46</sup> Veja aqui a incrível história de Vulcano - <https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/vulcano-o-planeta-procurado-por-mais-de-meio-seculo-e-que-einstein-expulsou-do-ceu.ghtml>

## 2.5. Ondas gravitacionais

Em setembro de 2015 o Observatório de ondas Gravitacionais por Interferômetro (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory - LIGO), com laboratórios nos estados de Lousiana e Washington, nos Estados Unidos, detectou outras evidências observacionais da Teoria Geral da Relatividade<sup>47</sup>. Os dos fenômenos previstos por Einstein, era o das ondas gravitacionais. Essas ondas se formam quando uma massa se movimenta ou gira pelo espaço-tempo, criando perturbações que se propagam através dele, igual a ondas causadas em um lago, quando uma pedra é jogada em suas águas. Ao invés da água, o meio de transporte das ondas gravitacionais é o próprio espaço-tempo. No entanto, elas são muito difíceis de serem detectadas, por serem fenômenos de baixa intensidade (valores com magnitude baixa) e também por ser muito fácil a interferência de quaisquer outros movimentos nos equipamentos de detecção. Qualquer vibração mínima seria uma perturbação significativa nos equipamentos, e invalidaria o experimento. Cem anos após a publicação da Teoria Geral da Relatividade, o projeto LIGO, através de uma tecnologia muito desenvolvida e um trabalho de engenharia preciso, conseguiu detectar ondas gravitacionais provenientes da fusão de dois buracos negros<sup>48</sup>, o que aconteceu há mais de 1,2 bilhões de anos-luz<sup>49</sup> de distância.

## 3. Considerações finais

A Teoria Geral e Especial da Relatividade é um marco na história científica da humanidade. A partir dela, muito conhecimento foi gerado e nossa compreensão acerca do universo aumentou. A cosmologia moderna de que estudaremos é totalmente dependente dela.

Outro ponto a ser comentado é sobre a teoria newtoniana. Muitos que veem, pela primeira vez, a teoria de Einstein, tomam uma iniciativa precipitada de avaliar a física de Newton como errada. Não é o caso. Como discutimos no capítulo “*Algumas palavras sobre ciência*”, o conhecimento científico é algo construído por geração em geração, num contínuo processo de aperfeiçoamento. A mecânica newtoniana se torna *um caso especial* da Teoria Especial da Relatividade para baixas velocidades. Vejamos um exemplo:

A relação entre tempos em referenciais inerciais, na Relatividade Especial, é dada por:

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \gamma t_0$$

---

<sup>47</sup> Acesse o site da Sociedade Brasileira de Física para mais detalhes em [http://www.sbfisica.org.br/v1/index.php?option=com\\_content&view=article&id=964:2017-10-05-17-17-18&catid=151:destaque-em-fisica&Itemid=315](http://www.sbfisica.org.br/v1/index.php?option=com_content&view=article&id=964:2017-10-05-17-17-18&catid=151:destaque-em-fisica&Itemid=315)

<sup>48</sup> Buracos negros são assuntos do tema de Teoria da Relatividade Geral mas serão tratados em um capítulo posterior específico.

<sup>49</sup> Unidade de distância da luz viajando, pelo vácuo, durante um ano. Em quilômetros, 1 ano-luz equivale a 9.460.730.472.580,8 km.

Mas, como visto, quando  $v$  é muito inferior ao valor de  $c$  (situações do nosso cotidiano<sup>50</sup>), temos que  $\gamma = 1$ . Dessa forma:

$$t = t_0$$

Ou seja, os tempos entre os referenciais são iguais, tal como é na mecânica newtoniana. Faça o mesmo processo acima para as equações de comprimento e momentum.

### Para aprofundar mais:

- *Einstein, sua vida, seu universo* – Walter Isaacson, Companhia das Letras, 2007.
- *Genius* – Série de televisão Da *National Geographic* sobre a vida Albert Einstein.

### Perguntas para fixação

**a) Para um determinado sistema de referência, uma explosão  $x$  aconteceu primeiro do que outra  $y$ . É possível que para outro sistema de referência,  $y$  aconteça primeiro do  $x$ ? Explique.**

*Sim. Dependendo do sentido de movimentação do segundo referencial da pergunta em relação ao primeiro referencial, o qual viu  $x$  acontecer primeiro do que  $y$ , é possível que para esse segundo referencial  $y$  aconteça antes do que  $x$ , como mostra a Teoria Especial da Relatividade (rever exemplo do trem no tópico que trata desse assunto).*

**b) Muitos equipamentos utilizados na topografia (estudo e descrição de terrenos geográficos) são baseados na tecnologia da luz. Eles direcionam feixes de luz em linha reta para fazer medidas da topografia de uma determinada área. Mas, é correto dizer que a luz viaja em linha reta? Podemos confiar nas medidas desses equipamentos?**

*Como vimos, a gravidade afeta também a luz, curvando-a. Como existe gravidade em todo planeta Terra, a luz é afetada por ela em toda a sua extensão. Porém, como também vimos, para que essa deflexão seja realmente significativa para nós, é necessário um campo gravitacional extremamente intenso para que isso ocorra. O exemplo do eclipse de Sobral mostrou bem esse fato. Como o campo gravitacional da Terra não é suficientemente forte para curvar a luz de uma maneira que seja significativa para nós, aqui na Terra, esse efeito não interfere no nosso cotidiano a ponto de causar nos causar problemas, como, por exemplo, nas medidas dos equipamentos que utilizam a luz em topografia.*

---

<sup>50</sup> Estamos no ano de 2020 e ainda não existem meios de transporte que viagem a velocidades relativísticas e as viagens espaciais não são comuns para nós. Quando assim for, lidaremos com a Relatividade rotineiramente. Um exemplo de como uma tecnologia atual é afetada pela Relatividade Especial vem dos Sistema de Posicionamento Global (GPS, em inglês). Veja este artigo da Revista Exame -<https://exame.com/ciencia/sem-teoria-da-relatividade-de-einstein-gps-nao-existiria/>

## Capítulo 5

### Conceitos básicos da Teoria Quântica

*Este é um capítulo de apoio, contendo alguns princípios básicos da Teoria Quântica. Pode ser trabalhado diretamente com os alunos. O professor deve ficar atento às notas de rodapé, pois elas contêm muitas sugestões de material complementar às explicações contidas no capítulo. A teoria quântica é apresentada apenas em conceitos básicos, no entanto indispensáveis à sua iniciação no aprendizado.*

#### Introdução

No capítulo anterior, sobre Teoria Especial e Geral da Relatividade, vimos que as consequências mais significativas dela aconteciam quanto maiores fossem as velocidades e/ou mais massivos os corpos envolvidos. De forma geral, ela é uma teoria que lida diretamente com a estrutura macroscópica do universo, por exemplo, os campos gravitacionais de corpos celestes como estrelas, planetas, buracos negros e outras estruturas massivas. Porém, para se ter um entendimento mais profundo da Cosmologia Moderna, é necessário também que aprendamos como matéria e energia são e se relacionam em escalas muito pequenas. A teoria quântica cuida desses assuntos. Ela lida com a estrutura da matéria, principalmente, em escala atômica, subatômica e molecular<sup>51</sup>. Estaremos interessados em desvendar as leis que regem estruturas muito menores que a espessura de um fio de cabelo e, no entanto, são cruciais para interpretarmos como de fato o Universo é.

#### A natureza ondulatória da luz e o experimento da dupla fenda

Para a física clássica, um dos grandes desafios era lidar com a natureza da luz<sup>52</sup>. Alguns físicos, como Newton, a consideravam como um conjunto de partículas. Outros, como

---

<sup>51</sup> O tamanho médio dos átomos é  $10^{-10}$  m. Em um milímetro é possível alinhar, aproximadamente, 10 milhões de átomos. A escala subatômica é menor do que a atômica, e abrange subpartículas como elétrons, prótons e nêutrons dentre outros tipos.

<sup>52</sup> Consultar “ Física Conceitual ”, de Paul Hewwit, 11ª edição, p. 554.

Huygens, atribuíam o caráter ondulatório à luz. Foi no ano de 1801 que o físico Thomas Young realizou um experimento, o qual ficou conhecido como “experimento da dupla fenda”, onde ele conseguiu demonstrar que a luz se comportava como onda<sup>53</sup>, analisando o que ocorria quando um feixe de luz passava por uma espécie de parede com duas fendas e incidia sobre outra sem fendas, posicionada logo atrás dela. Basicamente, se a luz fosse composta por partículas, era esperado que surgissem pontos luminosos apenas na direção das fendas, indicando que somente as partículas que passaram por elas conseguiram chegar até a parede posterior, e as demais ficaram impedidas pela região sem fendas. No entanto, o padrão encontrado por Young foi de várias “franjas” luminosas alternadas com franjas escuras, indicando que a luz, ao passar pelas fendas, sofreu o fenômeno de difração e interferência (fenômenos característicos de ondas), resultando naquele padrão de reflexão apresentado (consultar o quadro explicativo “Difração e interferência de ondas” nas páginas posteriores). No mesmo século, James Clark Maxwell introduziu o conceito de “onda eletromagnética” que classificava a luz como uma radiação transportando energia. Heinrich Hertz, um físico alemão, demonstrou experimentalmente a existência da radiação eletromagnética através da construção de emissores e receptores de ondas de rádio<sup>54</sup>.

### **A origem da Teoria Quântica e a radiação do corpo negro**

No final do século XIX, havia um problema envolvendo a radiação emitida por um corpo negro<sup>55</sup> (alguns exemplos do nosso cotidiano se aproximam do conceito de corpo negro tais como a lâmpada de filamento e o carvão aquecido) e a elaboração de um modelo matemático que descrevesse esse processo corretamente. Os cientistas não conseguiam uma solução que correspondesse ao que era observado experimentalmente, ou seja, as teorias clássicas existentes não conseguiam propor uma explicação que concordasse inteiramente com o fenômeno<sup>56</sup>. O corpo negro, quando aquecido, absorve toda radiação incidente sobre ele e também a emite em sua totalidade. Ao se aquecer, sua coloração vai mudando conforme a temperatura aumenta. Pela teoria clássica, se acreditava que quanto mais se aquecesse um corpo negro, maiores seriam as frequências de emissão da radiação. Porém, um problema ocorria quando, basicamente, a observação do fenômeno mostrava que essa emissão acontecia em apenas algumas frequências específicas. Os valores medidos eram diferentes dos valores do modelo matemático construído utilizando as teorias clássicas. Apenas para valores de ondas de baixas frequências os modelos clássicos funcionavam, ficando o restante dos dados em total desacordo. Foi Max Planck quem propôs o modelo que correspondia aos dados empíricos e explicava o fenômeno da radiação do corpo negro<sup>57</sup>. As abordagens clássicas assumiam que a energia (radiação) existia em qualquer frequência, sendo assim um fenômeno contínuo. Planck introduziu a hipótese que, na verdade, a energia só poderia ser armazenada

<sup>53</sup> Acessar o site da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para mais informações em: <http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>.

<sup>54</sup> O experimento de Hertz pode ser visto aqui: [https://sites.ifi.unicamp.br/lunazzi/files/2014/03/FredericoC-Monica\\_RF2.pdf](https://sites.ifi.unicamp.br/lunazzi/files/2014/03/FredericoC-Monica_RF2.pdf)

<sup>55</sup> Detalhes sobre a radiação do corpo negro, radiação térmica e o experimento no artigo “Radiação de Corpo Negro” de Mônica Bahiana, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ – disponível em <https://www.if.ufrj.br/~marta/cederj/quanta/mq-unid2-textocompl-1.pdf>

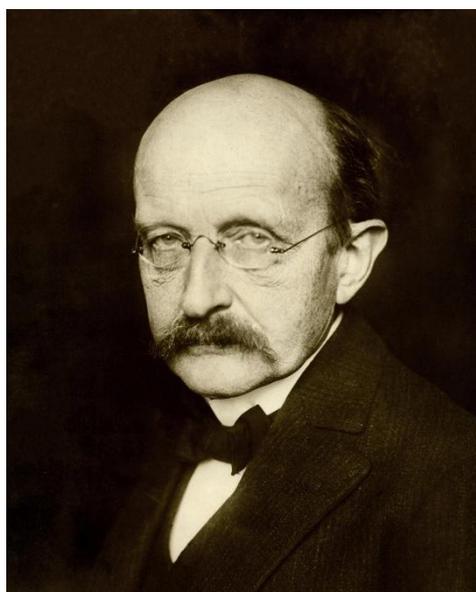
<sup>56</sup> Mais sobre o problema do corpo negro em

<sup>57</sup> HUSSEIN, Mahir S.; SALINAS, Sílvio Roberto Azevedo. 100 anos de física quântica. Editora Livraria da Física, 2002, p.1.

na matéria em “pequenos pacotes”, quantidades discretas (em oposição aos valores contínuos das teorias anteriores). Pense em um muro muito extenso. De longe ele parece ser contínuo, sem interrupções ou divisões em seu comprimento. No entanto, ao nos aproximarmos, vemos que ele é constituído de tijolos, os quais são as suas pequenas *unidades elementares*. A hipótese de Planck (em 1901) propunha que a energia armazenada na matéria só existiria sob a forma de unidades elementares, as quais ele chamou de *quantum*. A lei de Planck foi descrita matematicamente como:

$$E = h.f$$

Ela expressa o quanto de energia possui um *quantum* na frequência  $f$  de vibração. Chamamos o termo  $h$ <sup>58</sup> de constante de Planck. É importante destacar que a **energia será diretamente proporcional à frequência**. A energia de um corpo era um múltiplo de  $h$ ! A Teoria Quântica nasceu com os estudos de Max Planck e se desenvolveu com a participação de outros importantes físicos.



Max Planck      Fonte:Wikipedia

### Efeito fotoelétrico

Pouco tempo depois da publicação da Planck, o jovem Albert Einstein estendeu a ideia do quantum para a luz, baseado no efeito fotoelétrico. O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons de uma superfície metálica, negativamente carregada, quando uma luz incide sobre ela. Até 1905, o fenômeno não era explicado satisfatoriamente, pois as abordagens que consideravam a luz como sendo uma onda não conseguiam encontrar a solução para algumas peculiaridades que aconteciam no efeito<sup>59</sup>. As principais eram que não existia um intervalo de tempo entre a incidência da luz na placa e a emissão do elétron, sendo um efeito que ocorria quase que instantaneamente. Outro efeito não explicado era que, independente da frequência ou intensidade da luz incidida, os elétrons eram emitidos sempre a partir do mesmo instante de tempo e, caso a luz possuísse uma frequência baixa (por exemplo, a luz vermelha) o

<sup>58</sup>  $h = 6,6260 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ Kg/s}$ . Observe que a constante de Planck tem um valor muito pequeno.

<sup>59</sup> Consultar “Física Conceitual”, de Paul Hewwit, 11ª edição, p. 557.

fenômeno de emissão não ocorria. A quantidade de elétrons ejetados em um determinado intervalo de tempo era proporcional à intensidade da luz. Ao considerar a luz como também sendo composta por *pequenos pacotes* de energia (ficariam conhecidos por *fótons*, nome proposto por Einstein) Einstein conferiu o caráter de *conjunto de partículas* à natureza da luz, as quais obedeciam à lei de Planck. Basicamente, a sua explicação para esse fenômeno era que a luz, no momento em que interagia com a placa metálica carregada, tinha o comportamento de partícula, ou seja, funcionava como uma saraivada de pequenas partículas (fótons) bombardeando a placa. Os elétrons da placa, por sua vez, absorviam esses fótons imediatamente ao contato com eles e, à medida que mais fótons eram absorvidos, mais esses elétrons se excitavam, culminando em um limite de excitação (energia) que, quando ultrapassado, o elétron se *soltava* da placa e era ejetado. O fato de os elétrons absorverem instantaneamente os fótons, resolvia a questão de que não havia um tempo de retardo entre a incidência da luz na placa e a emissão do elétron. Depois de onze anos, a comprovação experimental para a explicação de Einstein veio do físico Robert Milikan, o qual ganhou o prêmio Nobel por esse feito (curiosamente, ele queria demonstrar que Einstein estava errado). A relação diretamente proporcional entre a energia do fóton e a sua frequência foi evidenciada. Uma curiosidade sobre Einstein é que ele ganhou o prêmio Nobel em 1921 pelas suas contribuições à explicação do efeito fotoelétrico e não pela Teoria Especial e Geral da Relatividade.

### **Dualidade na natureza da luz: ora onda, ora partícula.**

O experimento da dupla fenda de Thomas Young revelou que a luz se comportava como uma onda, sofrendo os processos de difração e interferência. Maxwell e Hertz, anos depois, contribuíram com essa ideia através do conceito e da demonstração da radiação eletromagnética.

No entanto a explicação do efeito fotoelétrico mostrava características corpusculares da luz (partículas), sendo ela composta de minúsculas partículas (características comuns às partículas são massa e velocidade, seu produto é o momentum) energéticas que viriam a ser conhecidas por fótons.

Como é o comportamento da luz, então? Onda ou partícula? Onda e partícula ao mesmo tempo! Assim, dizemos que a natureza da luz é dual, apresentando em certos momentos comportamentos de onda e em outros de partícula. Os fótons, ao serem emitidos por uma fonte ou absorvidos pelo receptor, desenvolvem o comportamento de partícula. Já enquanto estão fazendo esse caminho fonte-receptor, se propagam como ondas.

## **Difração e Interferência de ondas**

O fenômeno da difração pode ser entendido como sendo o que acontece quando uma onda passa por um orifício de tamanho semelhante ao seu comprimento. Aquele ponto se torna um *novo emissor* de onde, de onde surgem novas ondas que se propagam.

Já a interferência consiste quando mais de uma onda se sobrepõem umas às outras causando ou interferência construtiva ou destrutiva. Se for construtiva, as ondas estão em fase (picos e vales estão sincronizados) e suas amplitudes se somam, formando uma nova onda de amplitude maior. Já a destrutiva é o contrário, as ondas defasadas se somam, porém, diminuindo a amplitude e podendo até mesmo se anularem completamente.

### A teoria de Louis de Broglie

Louis de Broglie foi um físico francês que também contribuiu para o desenvolvimento da Teoria Quântica. Seu principal trabalho, com o qual ganhou o prêmio Nobel de Física em 1929, foi expandir o conceito da dualidade onda-partícula do fóton para o elétron. Ele chegou à seguinte equação:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Onde  $\lambda$  é o comprimento da onda gerada pelo corpo enquanto esse tem o momentum  $p$ . O termo  $h$  é a constante de Planck. Essa equação mostra que qualquer corpo dotado de momentum possui uma função de onda associada a ele. Eu, você, seu cachorro, um carro ou um pássaro, nos movimentando, o fazemos *como uma onda*. Um avião *Boeing 747*, um dos maiores existentes no mundo, o qual pode viajar pesando até 440.000kg, e atingir 900km/h, sob essas condições, teria uma onda relacionada ao seu momentum de  $6,02 \times 10^{-42}$ m. Assim, não experimentamos essa dualidade com corpos do nosso dia-a-dia, pois as ondas geradas têm grandeza insignificante para nós. O termo momentum ( $m.v$ ) está no denominador e  $h$  é um valor muito pequeno comparado a eles, de forma que  $\lambda$  possui um valor muito pequeno.

### O princípio da incerteza

O princípio da incerteza é um dos principais conceitos da Teoria Quântica. Ele foi proposto pelo físico alemão Werner Heisenberg, o qual também ganhou o Nobel de Física em 1932. Esse princípio diz que, a nível quântico, quanto mais conhecemos a posição de uma partícula, menos conhecemos o seu momentum e vice-versa. A sua equação é:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$$

Onde,  $\Delta x$  é a incerteza, relacionada à posição medida da partícula, e  $\Delta p$  está relacionado ao seu momento. Como  $h$  e  $2\pi$  são valores constantes, quanto mais diminuirmos uma das incertezas, mais a outra aumenta. O ato de medir uma dessas grandezas, nesse contexto, altera o seu próprio valor. Pense, se quisermos medir a posição de um fóton, em um determinado momento, precisamos incidir luz sobre ele. Ao fazer isso, esse fóton estará sujeito a colisões com outros fótons (provenientes da luz), o que altera sua velocidade e, portanto, o momentum. O princípio da incerteza de Heisenberg nos mostra que existe um limite para a exatidão das medidas no mundo quântico.

É preciso ressaltar que, esse princípio é válido apenas para o nível quântico (por exemplo, fótons e elétrons dentre outras partículas). A partir daí ele já não pode ser aplicado. As incertezas das medidas que, por exemplo, a engenharia trabalha, nada têm a ver com o princípio da incerteza de Heisenberg. Elas são causadas ou por limitações dos instrumentos de medida ou por erros esperados da pessoa que executa o processo. O mundo quântico deve ser entendido em seu contexto e muito das suas leis não se aplicam à matéria e escala maior.



Werner Heisenberg (1901 - 1976) nasceu em Wurtzburgo, na Alemanha. Desde muito jovem era um ávido leitor de filosofia e ciências, sendo Platão uma grande influência. Estudou física e matemática na Universidade Munique. Foi um físico prolífico, tendo se dedicado a desenvolver as bases da Mecânica Quântica. Ganhou o prêmio Nobel de física em 1932.

**“Um especialista é alguém que sabe quais os piores erros que podem ser cometidos na sua área e os evita.”**

Fonte: Wikipedia

### Comentários Finais

Este breve capítulo da Teoria Quântica serviu para introduzir os conceitos mais básicos do grande e complexo corpo de conhecimento que o assunto abrange. O que muito resta foge ao propósito da apresentação desta teoria aos alunos do ensino médio como parte suplementar a um curso de introdução à Cosmologia Moderna.

### Referências Bibliográficas:

HEWITT, P. **FÍSICA Conceitual**. 12ª edição, p.553-570, 2011.

### Para aprender mais:

- *Uma breve história do tempo – Stephen Hawking, capítulo “O princípio da incerteza”.*
- *A parte e o todo – Werner Heisenberg.*

### Perguntas de fixação:

a) *Se formos medir a temperatura de uma água quente, contida em um recipiente, colocando um termômetro dentro dela, certamente estaremos interferindo na medida, pois, se o termômetro estiver mais frio que a água, ele causará uma pequena mudança na temperatura original da água. Isso tem a ver com o princípio da incerteza de Heisenberg? Explique.*

*Não. Embora o fenômeno de interferir na temperatura da água quente do exemplo com o termômetro seja um fenômeno que também ocorrerá no nível microscópico da matéria, essa interferência não será significativa a ponto de conferir tal incerteza à medida de temperatura. É importante lembrar que a temperatura é medida do grau de agitação dos átomos e moléculas que formam um determinado corpo, sendo que quanto maior essa agitação, maior é a temperatura. Como vimos, o princípio de*

*incerteza de Heisenberg é significativo para escalas ainda menores do que átomos e moléculas e, dessa forma, ele não interfere nessa medida.*

- b) **Qual cor de luz possui maior energia: vermelha ( $f = 480\text{THz}$ ) ou violeta ( $f=789\text{THz}$ )? Justifique.**

*Para resolver essa questão, não é nem necessário fazer conta, uma vez que não se pede o valor da energia, mas sim qual dos dois é o maior. Devemos lembrar que aprendemos na aula como a **energia de um feixe de luz é diretamente proporcional à frequência dessa luz**. Como a frequência da luz violeta é superior à frequência da vermelho, concluímos que a cor violeta é mais energética que a vermelha. Se quiserem calcular o valor, basta aplicarem a fórmula já discutida no capítulo ( $E = h \cdot f$ ).*

## Capítulo 6

### **A expansão do universo, um cocheiro e um atleta – uma grande história científica (pouco provável) do século XX**

*Atenção, professores! A leitura desse capítulo é recomendada, primeiramente, a vocês, pois está escrito numa linguagem acadêmica do ensino superior, na modalidade de artigo. Ele servirá de base para que montem suas aulas sobre a expansão do universo. Caso queiram trabalhar essa leitura diretamente com seus alunos, recomendamos que os auxiliem durante todo o processo e façam a leitura juntos. As biografias de Edwin Hubble e Milton Humason<sup>60</sup>*

---

<sup>60</sup> Existem duas biografias recomendadas. Uma, mais atual, de Milton Humason, ainda sem tradução para o português, chamada “The Muleskinner and the Stars” (VOLLER, 2016) escrita por Ronald Voller. Outra, sobre Hubble, escrita em 2003, pelo astrônomo e astrofísico brasileiro Augusto

*podem constituir uma boa maneira de inspirar e motivá-los para a ciência, principalmente os fatos da vida de Milton Humason, o qual iniciou seu trabalho no Observatório do Monte Wilson como um guia de mulas e, através do seu interesse e esforço, participou ativamente dos estudos conduzidos por Hubble sobre as distâncias e velocidades das galáxias. Outra sugestão é que os professores de história e/ou geografia podem auxiliar na introdução do texto, uma vez que ela trata do cenário geopolítico do início do século XX como um importante pano de fundo para o nascimento da Cosmologia Moderna.*

## RESUMO

O modelo de expansão acelerada do Universo, tal como conhecido hoje, é fruto de uma história de pesquisas e desenvolvimentos, tanto no campo teórico quanto prático da física e astronomia. Representa uma das maiores descobertas científicas, não só do século XX, mas de toda a história da humanidade, e também uma das primeiras da Cosmologia Moderna. Ao longo de aproximadamente 30 anos, teorias e modelos do universo, propostas por físicos e cosmólogos, juntamente com observações astronômicas, andaram lado a lado, ora em sintonia, ora conflitantes, guiando-os no caminho em busca da compreensão de como funciona parte da dinâmica do Cosmos em larga escala. **Dinâmica, essa, negada durante séculos**, inclusive por Einstein, mas que começou a ser aceita a partir de uma publicação do matemático e cosmólogo russo Aleksander Friedmann, em 1922. Em 1929, Hubble e Humason realizam observações que seriam determinantes para as conclusões sobre a expansão do universo<sup>61</sup>. O presente texto tem como tema principal contar um pouco da história compreendida em todo esse período, descrevendo suas principais ideias e acontecimentos, dando destaque para o principal personagem, Edmund Hubble.

### 1.Introdução – Contextualização da época

O século XX foi marcado por profundas mudanças políticas, sociais e econômicas. Em um cenário turbulento de guerras e conflitos de âmbito mundial, já no seu início, esse novo século mostrava o caráter de ruptura com o passado e transformações radicais, nas mais variadas esferas das organizações humanas. A primeira Guerra Mundial estouraria nos anos 10; as transmissões de rádio e telégrafo diminuíram as distâncias e apresentaram novos mundos para as pessoas; a Revolução Russa pretendia distribuir riquezas e poderes entre os proletários; e os carros invadiram as cidades que se tornaram maiores e mais presentes. Nas palavras do historiador Eric Hobsbawn, “ [...] para os que cresceram antes de 1914, o contraste foi tão

---

Damineli, com o nome de “Hubble e a expansão do universo” (DAMINELI, 2003).

<sup>61</sup> Como dito, as observações de ambos os astrônomos seriam cruciais para o modelo de um universo não-estacionário (dinâmico), ou seja, não estamos afirmando serem os mesmos os responsáveis por tal proposta de modelo. Inclusive Hubble, como um ótimo “experimentador”, foi muito cauteloso ao publicar seus resultados e nunca defendeu publicamente a ideia de um universo que se expandia (consultar “Cosmologia e Ensino da Ciência: Problemas e Promessas”, de Helge Kragh, p.5). A ciência é um processo de pesquisa contínua, que se renova sob a dúvida e trabalho das gerações posteriores a uma ideia ou teoria. Ressaltar aos alunos esses conceitos, como também a importância de Hubble e Humason para todo o processo.

impressionante que muitos – inclusive a geração dos pais deste historiador, ou pelo menos de seus membros centro-europeus – se recusaram a ver qualquer continuidade com o passado.” (HOBSBAWN,1995, p.30). No campo científico não foi diferente. Com a publicação da Teoria da Relatividade Especial (1905), Geral (1915) e da Teoria Quântica nos meados da década de 20, o mundo científico sofreu um grande impacto ao ver a Física Clássica, proposta por Isaac Newton, três séculos antes, ser confrontada por essas novas teorias. No domínio quântico, ou o chamado infinitamente pequeno, as medições simultâneas de *momentum* e posição, antes bem determinadas pelas equações clássicas quando aplicadas a corpos de maior dimensão, mostravam-se falhas nas escalas microscópicas devido ao Princípio da Incerteza, proposto por Werner Heisenberg em 1927 (SILVA, 2014). Nele, ao se aferir a posição de uma partícula, não é possível medir, simultaneamente e com precisão, o seu *momentum* (produto da velocidade pela massa) e posição, e vice-versa. Já no contexto do macrocosmo, o infinitamente grande, a teoria clássica era posta à prova e refletida por outro ponto de vista através da Teoria da Relatividade de Albert Einstein. Na Teoria Especial, a noção de espaço e tempo, separados e únicos, dá lugar a uma relação espaço-tempo inseparável, onde o tempo e as dimensões dos corpos podem ser relativos para os observadores, dependendo dos seus referenciais. Nas palavras do próprio Einstein, sobre a relatividade galileana, base para a física clássica, a qual era vigente em seu tempo, “[...] Enquanto todos estavam convencidos de que os fenômenos da natureza podiam ser representados com auxílio da mecânica clássica, a validade deste princípio da relatividade nunca foi posta em dúvida. Mas, os novos desenvolvimentos da eletrodinâmica e da óptica foram tornando cada vez mais claro que a mecânica clássica era uma base insuficiente para a descrição de todos os fenômenos físicos. Com isto, também passou a ser discutida a questão da validade do princípio da relatividade [...]” (EINSTEIN, 1916, p.19). Partindo dos alicerces sobre a constância da velocidade luz e a validade das leis física para quaisquer observadores no universo, ele postulou, dentre outras leis, que a gravidade, na verdade, era consequência da curvatura do espaço, causada pela existência de massa que deformava o “tecido espaço-tempo” ao seu redor (STACHEL,2001). Dessa forma, por exemplo, o movimento dos planetas ao redor do sol não deveria mais ser entendido como em função de uma força, assim descrita por Newton, mas devido a curvatura criada pela grande massa do sol no centro do sistema solar, fazendo com que os planetas o orbitassem dentro da porção de espaço tempo deformada por ele mesmo. Era sob essas condições que o mundo científico estava no início do século XX. Esse clima de surgimento de novas ideias e teorias científicas, instabilidade política e desenvolvimento tecnológico foi o contexto para outra grande revolução envolvendo o conhecimento da dinâmica e estrutura do Universo. .

## 2.Hubble e o descobrimento das Galáxias

Edwin Powel Hubble nasceu no dia 20 de novembro de 1889, em Marshfield no estado de Missouri nos Estados Unidos. Seu fascínio pela Astronomia começou por volta dos 8 anos de idade, motivado pelo seu avô materno. Porém, seguindo os passos de seu pai, concluiu o curso de Direito em 1910 pela Universidade de Chicago, exercendo a profissão por pouco tempo. Doutorou-se em Astronomia em 1914. Se alistou para servir durante a Primeira Guerra Mundial como major e comandou um batalhão na França. Em 1919, retornou aos Estados Unidos e foi trabalhar no Observatório de Monte Wilson, Califórnia, onde realizaria quase todo seu trabalho até o ano de sua morte, em 1953.

Quando Hubble vai trabalhar no Observatório Monte Wilson, uma das maiores questões que rondavam a Astronomia da época era a natureza das nebulosas espirais<sup>62</sup> (WAGA, 1998). No

<sup>62</sup> No contexto dessa época, as nebulosas eram quaisquer corpos de aparência difusa (mesmo aspecto

dia 26 de abril de 1920, um debate, que mais tarde viria a ser conhecido como “O Grande Debate da Astronomia”, aconteceu no Museu de História Natural Smithsonian em Washington, Estados Unidos (HOSKIN 1976). Nele, dois cientistas discutiram ideias opostas sobre o tema “Escalas do Universo”. Heber Curtis, astrônomo do Observatório Lick, defendia que as nebulosas espirais, na verdade, eram outras galáxias semelhantes à nossa em dimensão e número de componentes. A ideia da existência de outras galáxias já havia sido proposta pelo astrônomo amador Thomas Wright, o qual acreditava na existência de “outras vias Lácteas”, e Immanuel Kant, que influenciado por Wright, propõe em seu “História Natural e Filosofia do Céu” que as nebulosas seriam outras galáxias comparáveis à nossa (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2017, p.475). Curtis tinha como principal argumento que as novas<sup>63</sup> observadas nas nebulosas deveriam ser similares às observadas em nossa galáxia, sendo, portanto, essas espirais outros sistemas estelares. Já Harlow Shapley, astrônomo do mesmo observatório de Hubble, argumentava que essas nebulosas não seriam outras galáxias, mas apenas objetos nebulosos comuns. Shapley carregava a reputação de já ter medido a posição do Sol na Via Láctea e mensurado a melhor medida do seu tamanho para a época. No entanto, se baseava em dados errados sobre o movimento próprio de algumas estrelas presentes nessas nebulosas, calculados pelo astrônomo holandês Adriaan van Maanen. Seguindo os valores de Maanen, Shapley concluiu que, caso as nebulosas fossem grandes como a Via Láctea, a velocidade dos corpos em suas bordas seria superior a velocidade da luz, o que entrava em conflito com a Teoria da Relatividade de Einstein. Concluía, portanto, que as nebulosas espirais deviam ser objetos menores e estavam localizadas dentro do raio da Via Láctea. Ao final do debate, não foi possível chegar a uma conclusão devido à falta de dados observacionais, pois, os astrônomos dessa época tinham muitas dificuldades para medir a distância de objetos mais longínquos. Hubble, por sua vez, subordinado de Shapley no Observatório do Monte Wilson, estava mais inclinado em aceitar a ideia de que as nebulosas estavam além dos limites da Via Láctea (extragalácticas), porém, ao mesmo tempo, pensava que faltavam “medidas confiáveis das distâncias” (DAMINELI, 2003, p.52) não sendo possível, naquele momento, uma afirmação contundente sobre essa teoria. Outro fator o preocupava – opor-se abertamente à teoria de Shapley, seu chefe, poderia lhe trazer problemas profissionais significativos. Dessa forma, ele conduziu seus estudos sem chamar a atenção do restante dos astrônomos do observatório.

Três anos se passaram do debate e, em outubro de 1923, Hubble começa a fazer observações da nebulosa de Andrômeda. Nela, ele identificou uma estrela variável e duas novas. A estrela variável seria de grande importância para o seu trabalho. Estrelas variáveis apresentam oscilações periódicas em sua luminosidade (LEDOUX;WALRAVEN,1958). Baseado nos

---

de nuvens, daí o nome) que os astrônomos observavam no céu noturno e, devido a essas características, sabiam que não se tratavam de apenas uma estrela ou planeta. As grandes questões envolvendo as nebulosas nessa época era em relação às suas possíveis composições (se eram aglomerados de estrelas, planetas ou outros elementos) e se eram objetos celestes localizados dentro ou fora dos limites da Via Láctea. A ideia vigente era que todo o universo se consistia de apenas uma galáxia, a nossa Via Láctea. Dessa forma, medir distâncias tanto dos limites da nossa galáxia quanto da posição das nebulosas eram grandes desafios da época.

<sup>63</sup> Quando uma estrela explode e libera no espaço seu conteúdo chamamos esse fenômeno de “supernova”, o qual acarreta na desintegração total da estrela ou da maior parte de sua massa. Já o fenômeno das “novas” ocorre em sistemas formados por duas estrelas (binários), onde uma consome o material da outra até o ponto em que também explode. A diferença, nesse caso, é que o processo não leva a destruição da estrela que explodiu, voltando essa a ter dimensões menores.

trabalhos de Henrietta Leavitt<sup>64</sup>, astrônoma americana responsável por descobrir a relação proporcional entre o período de pulsação de uma estrela variável cefeída e a sua luminosidade absoluta (energia por unidade de tempo vinda de uma fonte emissora de luz), Hubble a classificou como uma cefeída. Cefeídas são estrelas que apresentam picos de pulsação em seu brilho da ordem de dias, e têm massa de aproximadamente entre 5 e 10 vezes a massa solar (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2017, p.370). Como descoberto por Leavitt, em 1912, quanto maior fosse o período de oscilação da luminosidade aparente<sup>65</sup> de uma estrela (energia por unidade de área por unidade de tempo recebida de uma fonte luminosa), maior seria a sua luminosidade absoluta (LEAVITT; PICKERING, 1912). Como a intensidade da luz (fluxo de energia em uma direção) cai com o inverso do quadrado da distância entre a fonte emissora (estrela) e a receptora (planeta Terra), Hubble conseguiu calcular a distância da cefeída até a Terra. A medida encontrada foi de 300.000 parsecs, ou seja, 1 milhão de anos-luz. Essa medida era muito superior à medida conhecida na época do raio da Via Láctea, que era de aproximadamente 15000 parsecs. Na noite do dia 5 outubro de 1923, Hubble desceu a montanha do Observatório de Monte Wilson e escreveu na página 156 do seu diário de bordo: “ [...] nesta chapa (H335H), três estrelas foram encontradas, duas das quais eram novas, e 1 provou ser uma variável, que mais tarde foi identificada como uma Cefeída – a primeira a ser encontrada em M31” (CHRISTIANSON, 1996, p.156). Aproximadamente cinco meses depois, escreve uma carta para Shapley relatando suas observações: “ Você se interessará em ouvir que encontrei uma variável cefeída na nebulosa Andrômeda (M31)... Em anexo segue uma cópia da carta de luz que, mesmo grosseira, mostra de forma inquestionável as características de uma cefeída. ... Usando o valor de Seares... a distância obtida possui um valor acima de 300.000 parsecs.” (WAGA, 1998). Para um valor como esse, que situava Andrômeda em uma posição muito além das fronteiras da Via Láctea, as conclusões teriam que ser no sentido de que Andrômeda estava muito além da galáxia e seria um outro sistema estelar independente (outra galáxia). Relatos da cientista Cecília H. Payne, primeira doutora em Astronomia do Observatório de Harvard, a qual estava presente no momento em que Shapley havia lido a carta em seu escritório, contam que o mesmo exclamou: “[...] Aqui está a carta que destruiu o

---

<sup>64</sup> Ela e outras astrônomas como Williamina Fleming, Annie Cannon, Cecília Gaposchkin e Antonia Maury fizeram parte do que ficou conhecido como as mulheres “computadoras de Harvard” (DAMINELLI, 2003, p.61). No final do século XIX e início do XX elas foram recrutadas por Edward Pickering, astrônomo e físico de Harvard, para trabalharem no observatório dessa universidade, classificando e catalogando estrelas. Em uma época de muito preconceito em relação às mulheres nas posições de trabalho, principalmente nos ambientes científicos, a história delas e das outras que compuseram esse quadro de astrônomas pode servir como inspiração e motivação para a carreira científica. A quantidade de dados relacionados à classificação das estrelas que elas produziram foi muito significativa para os estudos em astronomia que seguiriam nas décadas posteriores. Por exemplo, Williamina Fleming, que era empregada doméstica na casa de Pickering antes de ser recrutada, catalogou e classificou mais de 10.000 estrelas em relação ao seu brilho. Fragmentos da sua história assim como das outras astrônomas também podem ser encontrados nessa matéria do jornal *El país*:

[https://brasil.elpais.com/brasil/2015/10/28/ciencia/1446051155\\_519282.html](https://brasil.elpais.com/brasil/2015/10/28/ciencia/1446051155_519282.html)

<sup>65</sup> Em palavras simples, é o brilho que você vê quando observa uma estrela daqui da Terra (com os efeitos da atmosfera já corrigidos). Já o brilho intrínseco (ou absoluto) é o brilho aparente que a estrela tem se for observada há uma distância padrão de 10 parsec (aproximadamente 32 anos-luz). Imagine você observando o brilho de uma vela que esteja há 10cm de você. Depois, essa vela é colocada há 100 metros e você observa seu brilho novamente. Na primeira situação, se imaginarmos que nessa escala 10 cm são iguais há 32 anos-luz, você está observando o brilho intrínseco (ou absoluto) da fonte luminosa (nesse caso, a vela, no caso dos astrônomos, são as estrelas). Na segunda situação, você observa o brilho aparente.

meu universo. ” (CHRISTIANSON,1996, p.159). Diante de tais observações e cálculos, concluiu-se que realmente Andrômeda estava muito além dos limites da Via Láctea e que, portanto, podia ser considerada como outra galáxia. Hoje sabe-se que a distância entre Andrômeda e a Via Láctea é 2,2 milhões de anos-luz, o dobro calculado por Hubble (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2017, p.476). Como menciona Waga (1998, p.164), essa discrepância foi devido ao fato de que somente na década de 50, um astrônomo alemão chamado Walter Baade, mostrou que existem 2 categorias diferentes de Cefeidas, o que levou a uma revisão de todos os cálculos de distâncias que já haviam sido feitos utilizando esses objetos como referência. Em 1926, Hubble ainda propõe um sistema de classificação das galáxias, que ficaria conhecido como Diagrama de Hubble, em que as dividia de acordo com o seu formato – elíptico, espiral e espiral barrado (HUBBLE, 1926).

### 3.A Expansão do Universo

A descoberta da Lei de expansão do Universo foi feita por Edwin Hubble com a colaboração de outro astrônomo, chamado Milton Humason (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2017, p.505). Porém, passos importantes nesse processo foram realizados antes, por outros cientistas (WAGA, 2000). A história se inicia em 1901, quando o astrônomo americano Vesto Slipher é contratado para trabalhar no Observatório Lowell, no estado do Arizona, Estados Unidos. Durante dez anos, utilizando um espectroscópio, analisou a luz proveniente de estrelas e nebulosas. No ano de 1912, constatou que a luz proveniente da, até então, *nebulosa* de Andrômeda apresentava um desvio para o azul. Foram realizadas 8 observações, entre os meses de setembro e dezembro de 1912. Utilizando o efeito Doppler, no qual a frequência de uma onda tem seu valor alterado se a sua fonte emissora ou o receptor se movem em relação ao seu meio de propagação, calculou a velocidade de Andrômeda para cada uma dessas observações, como mostra a figura 1:

Figura 1 - Tabela original do trabalho de Slipher, publicado em 1913.

1912, September	17,	Velocity,	—284 km.
November	15-16,	“	296
December	3-4,	“	308
December	29-30-31,	“	—301
	Mean velocity,		—300 km.

Fonte: Slipher(1913)

O valor médio calculado para a velocidade foi de 300 Km/s. Quando o Efeito Doppler é aplicado para a luz, se a fonte emissora se aproxima do receptor o espectro de cor é desviado para o azul, pois o comprimento de onda fica menor e a frequência maior. Se a fonte está se afastando, o desvio do espectro vai para o vermelho (baixa frequência). A equação (1) descreve o fenômeno:

$$z = \frac{(\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_1} = \left(\frac{Ve}{c}\right) \text{equação(1)}$$

Onde,  $\lambda_1$  representa o comprimento da onda no referencial da fonte,  $\lambda_2$  o comprimento da onda medido pelo observador,  $V_e$  a velocidade da fonte em relação ao observador e  $c$  a velocidade da luz. O termo  $z$  recebe o nome de desvio para o vermelho, em inglês, redshift. Valores positivos para  $z$  representam afastamento da fonte em relação ao observador. Valores negativos, aproximação. Nas palavras de Slipher, suas conclusões foram: “ Conseqüentemente podemos concluir que a Nebulosa de Andrômeda está se aproximando do Sistema Solar com uma velocidade de, aproximadamente, 300 quilômetros por segundo. ” (SLIPHER,1913, p.56). Em 1923, Slipher já havia mesurado a velocidade de 41 nebulosas (THOMPSON, 2011). Somente cinco apresentavam valores de  $z$  negativos, ou seja, se aproximavam da Via Láctea. As velocidades encontradas estavam numa faixa entre 200 e 1000 Km/s, valores muito superiores aos de velocidades encontrados para estrelas comuns (WAGA, 2000).

Concomitantemente, os avanços teóricos sobre a cosmologia estavam acontecendo, principalmente na Europa. Em 1917, Albert Einstein publica o seu “ Considerações Cosmológicas na Teoria Geral da Relatividade”, onde discute as conseqüências da sua teoria na estrutura do universo e propõe o primeiro modelo cosmológico relativístico (EINSTEIN, 1917). Uma característica marcante do seu modelo era o fato de ser estático e conseguir relacionar a matéria do universo à essa característica. Um universo estático era uma crença comum entre os cientistas da época (WAGA,2000). Desde o início da ciência moderna, por volta do século XVI, as concepções sobre a ordem do Cosmos estavam alinhadas com esse princípio. Como o campo gravitacional exerce atração entre os corpos, Einstein adicionou uma constante ( $\Lambda$ ) em sua equação, a qual ficou conhecida como constante cosmológica, desempenhando a função de anular a contração do universo resultante devido à gravidade através de um efeito de expansão. No mesmo ano, um astrônomo holandês chamado Willem de Sitter publica 3 trabalhos aplicando a “Teoria da Gravitação de Einstein” (Relatividade), assim chamada por ele, na cosmologia (DE SITTER,1917). Seus resultados mostraram que era possível encontrar soluções para o modelo de um universo estático com a constante cosmológica, porém sem a existência de matéria, o que entrava em conflito com uma das principais características do modelo de Einstein. Após ler uma carta recebida de Einstein, em 24 de março de 1917, a quem de Sitter chamava de “professor”, na qual ele concordava não ser possível propor uma solução nessas condições, de Sitter relata no seu “Sobre a Relatividade da inércia”: “Ele [Einstein], portanto, postula o que chamei acima da impossibilidade lógica de supor que a matéria não existe. Podemos chamar isso de "postulado material" da relatividade da inércia.” (DE SITTER, 1917, p.1225). De Sitter ainda propõe que a velocidade de afastamento entre objetos espalhados aleatoriamente pelo universo, aumentaria com a distância. Como seu universo é vazio, desprovido de massa, eles representam apenas partículas hipotéticas de testes.

Aleksandr Friedmann foi um físico russo que primeiramente propôs soluções matemáticas de um universo em expansão para as equações de Einstein<sup>66</sup> (SOARES, 2012). Num primeiro

---

<sup>66</sup> Essas soluções matemáticas que estamos tratando aqui, tanto as de Friedman, quanto de De Sitter e outros que virão, são desenvolvimentos teóricos matemáticos desses cientistas tentando encontrar soluções para as equações e modelos. Basicamente, um modelo matemático é um conjunto de equações que tentam descrever um processo qualquer. No nosso caso, resumidamente, esses modelos estão tentando representar, através da matemática, como é o funcionamento do Universo em larga escala. Não é nossa intenção aqui mergulhar em detalhes sobre como e quais são essas soluções, até porque seriam necessários muitos conhecimentos avançados de Cálculo e Física para apenas introduzir o assunto. No ponto em que estamos, uma breve introdução à Cosmologia Moderna, basta que entendamos conceitualmente e historicamente alguns aspectos básicos sobre *o que estava acontecendo*, mas sem querer entrar muito no *como isso estava acontecendo*. Aprender ciências, em geral, é uma tarefa que exige paciência para construir o conhecimento pouco a pouco e de maneira sólida. Respeitar o *tempo* de assimilação

momento, contrariado pelas novas ideias de Friedmann, Einstein publica uma nota, onde diz estarem erradas as soluções encontradas pelo russo (WAGA, 2000). Somente um ano mais tarde, ele admitiu que o trabalho de Friedmann estava correto. O modelo proposto por Friedmann é considerado o *modelo padrão cosmológico* até os dias atuais (FAGUNDES, 2002). Ele está de acordo com os princípios de homogeneidade e isotropia (respectivamente, o universo tem a mesma constituição em qualquer parte; para qualquer direção que olharmos, a partir de qualquer ponto no Universo, ele terá a mesma aparência, não existindo **lugares privilegiados**). Os dois princípios são válidos em escalas muito grandes, aproximadamente, 1 bilhão de anos-luz) do universo, e data a sua idade como sendo de 10 bilhões de anos, um valor muito próximo ao que se considera correto hoje (aproximadamente 13,8 bilhões de anos). Estava publicado ali o primeiro modelo teórico que postulava um universo em expansão, um marco importante na história da cosmologia. Seu trabalho foi muito pouco divulgado, permanecendo desconhecido por muito tempo. Friedmann morreu pouco tempo depois de tifo<sup>67</sup>. Tempos depois da morte de Friedmann, um padre belga chamado Georges Lemaître, propõe, em 1927, um modelo de universo inflacionário (LEMAÎTRE, 1927). Neste modelo, num instante primordial, toda a matéria e espaço estavam concentrados em um ponto infinitamente pequeno que sofre uma expansão abrupta e dá origem ao universo. Sua teoria é a base do que se chama “Teoria do Big Bang”, a qual é atualmente aceita, pela maioria da comunidade científica internacional, como sendo a que melhor explica o passado do universo<sup>68</sup>. Na teoria de Lemaître aparece pela primeira vez uma relação linear derivada das suas equações, relacionando a distância entre as galáxias e sua velocidade de afastamento. Também é creditado a Lemaître o primeiro cálculo do valor para o que viria ser conhecido como constante de Hubble, com valor de 625 km/s/Mpc (BLOCK, 2011). O trabalho de Lemaître também teve pouquíssima divulgação, permanecendo desconhecido por muitos anos.

Voltando um pouco no tempo, em 1922, através de observações, o astrônomo alemão C. Wirtz encontra uma relação logarítmica entre velocidade e distância das nebulosas. Usou como padrão o diâmetro aparente delas para inferir sua distância em relação a Terra. Quanto menor o diâmetro aparente, mais afastada estava a nebulosa. Seus resultados, no entanto, não foram levados à diante (WAGA, 2000). No ano de 1928, segundo Fagundes (2002), H. Robertson encontra a relação linear entre distância e velocidade das galáxias que, mais tarde, pelas mãos de Edwin Hubble, viria a ser conhecida como lei de Hubble. Já, segundo Waga (2000), na verdade, Robertson encontrou uma relação aproximada de linearidade entre essas duas grandezas, mas foi Hubble quem “coloca sobre uma base firme a validade da lei que indica que a razão entre a velocidade de afastamento de uma galáxia e sua distância é uma constante”(WAGA, 2000, p.165). Não é possível afirmar, categoricamente, se Hubble já havia lido o trabalho de Robertson e foi influenciado por ele.

#### 4. A Lei de Hubble

As observações que serviram de dados, para que Edwin Hubble chegasse nos resultados que dariam origem à lei que leva o seu nome, foram realizadas também pelo astrônomo Milton Humason (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2017, p.505). Humason nunca teve educação

---

conhecimento é importante.

<sup>67</sup> Doença infecciosa causada pela bactéria *Rickettsia prowazekii*. Normalmente é transmitida por piolhos. Causa febres altas e dores no corpo.

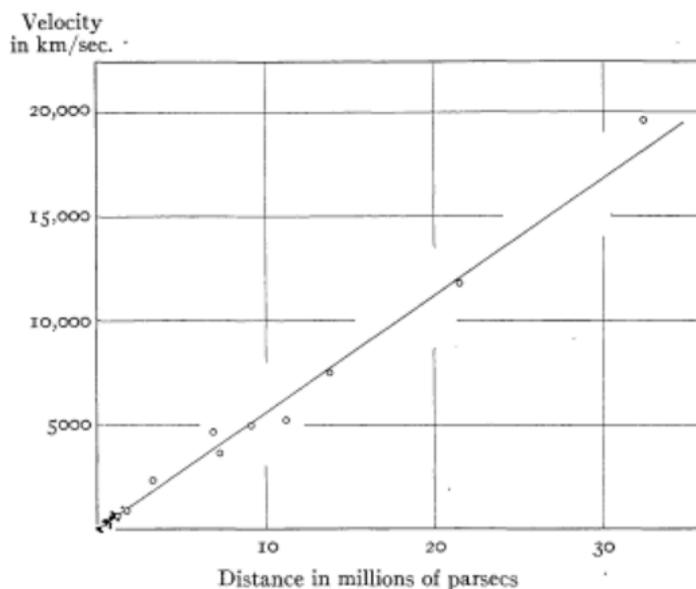
<sup>68</sup> Cuidado! Dizer que é a mais aceita não significa que ela já seja comprovada e definitiva. Iremos abordar a Teoria do Big Bang no próximo capítulo.

formal, abandonando a escola ainda muito jovem. Começou trabalhando como guia de carroças (cocheiro) puxadas por mulas, as quais transportavam as partes desmontadas do telescópio do Monte Wilson na fase inicial de construção e montagem. Depois de pronto, se interessou pelo funcionamento do telescópio e aprendeu a operá-lo. Foi contratado para ser auxiliar noturno, dando assistência para o trabalho dos astrônomos. Foi lá que começa a trabalhar com Hubble. Catalogando o desvio para o vermelho de 24 galáxias, Hubble e Humason publicam, em 1929, seus resultados, os quais apontavam uma relação de linearidade entre distância e desvio para o vermelho (HUBBLE, 1929). Quanto maior era a distância de uma galáxia em relação à Terra, maior era o seu desvio para o vermelho ( $z$ ). Como visto na equação (1),  $V_e = cz$ . Portanto, quanto maior a distância  $d$ , maior era a velocidade de afastamento  $V_e$ :

$$V_e = H_0 \cdot \text{distância}$$

Onde,  $H_0$  é a constante de Hubble, com unidade de Km/s.Mpc<sup>69</sup>, que está relacionada com a taxa de expansão do universo. A figura 2 mostra o diagrama original do trabalho:

Figura 2 – Diagrama original, relacionando a velocidade (Km/s) de afastamento com a distância (Mpc).



Fonte:Hubble (1929)

Dois anos após a publicação, Hubble e Humason estenderam sua pesquisa para avaliar a relação desvio/distância, ou velocidade/distância, de 40 galáxias. A mesma relação de linearidade foi encontrada (HUBBLE; HUMASON,1931). A constante  $H_0$ , calculada na época, foi de 500Km/sMpc. Hoje, sabemos que o valor é de aproximadamente 74 Km/sMpc (RIESS,2018), e essa discrepância é devida aos métodos ainda rudimentares de análises de

<sup>69</sup> “Mpc” leia-se “mega parsec”, uma unidade de distância, muito comum em Cosmologia, para grandes distâncias. 1Mpc = 3.260.000 anos-luz.

distâncias e velocidades da época de Hubble, comparados com os atuais. O trabalho de Hubble e Humason foi considerado a evidência empírica para da expansão do universo. Hubble, o qual não se aventurava em interpretar seus próprios resultados como sendo em função da expansão do universo, nunca defendeu publicamente essa teoria (DAMINELI, 2003). Se limitou a apenas demonstrá-los e publicar os dados. O fato é que seu trabalho foi muito significativo para o contexto da época e teve grande alcance entre os cientistas. Albert Einstein ficou muito interessado pelas novas observações e foi pessoalmente visitar o Observatório do Monte Wilson, chegando a afirmar que “ a descoberta da expansão do universo foi obra de dois californianos ” (DAMINELI, 2003, p.101). Embora todo o alcance que o trabalho teve na época, a aceitação da ideia da expansão ainda demorou alguns anos. Passados esses acontecimentos, Humason continuou trabalhando como astrônomo. Em 1961, descobriu um cometa que foi batizado em sua homenagem (ROEMER,1962). Morreu em 18 de junho de 1972 na cidade de Mendocino, Califórnia. Durante os anos 30 e 40, Hubble se dividiu entre uma vida social agitada e animada, devido à sua forte tendência pessoal em *gostar da fama* (DAMINELI, 2003) e o trabalho, investigando, principalmente, galáxias e suas formações. Descobriu um asteroide no dia 30 de agosto de 1935, o qual recebeu o nome de 1373 Cincinnati (WARNER,2005). Trabalhou para o governo americano, durante a Segunda Guerra Mundial, desenvolvendo pesquisas com trajetórias de mísseis. Faleceu em 1953, pouco antes do Comitê do Prêmio Nobel aprovar que astrônomos pudessem concorrer ao Nobel de Física, o qual ele tinha muitas chances de receber, juntamente com Humason. Seus trabalhos, além de revolucionarem a maneira de como se entendia o universo, constituíram a base sólida das pesquisas posteriores que buscaram entender a dinâmica do Cosmos.

### Atualidade

Em 2011, três físicos receberam o prêmio Nobel de Física<sup>70</sup> por comprovarem e expansão acelerada do universo, ou seja, além de se expandir, o Universo o faz com velocidades cada vez maiores<sup>71</sup>. Embora saibamos que o universo se expande de maneira acelerada, alguns estudos atuais têm encontrados resultados que podem apontar que a taxa de expansão pode variar conforme a região do Universo<sup>72</sup>. No entanto, se trata de algumas controvérsias existentes, porém, sem nenhuma comprovação, apenas levantamento de hipóteses.

Alguns pontos devem ser estudados e frisados para que os alunos tenham clareza em certos conceitos, os quais, muitas vezes, não são de fácil assimilação nem por profissionais da área<sup>73</sup>. Dentre eles:

- os alunos devem compreender que, na expansão do universo, não são os objetos que viajam, se afastando uns dos outros pelo espaço, mas o próprio espaço que se expande. A analogia da régua pode ser útil – uma régua se expandindo, mas não por causa dos números que “se

<sup>70</sup> Uma notícia da época do prêmio: <http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2011/10/tres-cientistas-recebem-nobel-por-estudos-sobre-aceleracao-do-universo.html>

<sup>71</sup> Mais informações nessa notícia: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Espaco/noticia/2019/04/universo-esta-se-expandindo-muito-mais-rapido-do-que-o-esperado.html>

<sup>72</sup> Mais informações aqui: <https://canaltech.com.br/espaco/novo-estudo-sobre-expansao-do-universo-pode-mudar-o-que-sabemos-sobre-o-cosmos-163267/#:~:text=De%20acordo%20com%20a%20pesquisa,Hubble%20para%20determinar%20a%20velocidade.>

<sup>73</sup> Recomenda-se a leitura do artigo de Helge Kragh “Cosmologia e ensino de ciências: Problemas e Promessas”

movimentam” para longe uns dos outros, mas porque o próprio espaço entre eles aumenta. Os números permanecem nas mesmas posições, porém, é o espaço existente entre eles que se expande, fazendo-os ficarem mais distantes uns dos outros, conforme o tempo passa.

- Edwin Hubble não “descobriu” a expansão do universo. Foi quem observou, juntamente com Milton Humason, e relacionou a velocidade de afastamento das galáxias às suas distâncias relativas à Terra, encontrando uma relação linear, onde as velocidades de afastamento aumentavam conforme mais distantes as galáxias. Anterior a isso, Georges Lemaître já tinha proposto teoricamente um universo com matéria que se expandia. Ainda no campo teórico, não podemos nos esquecer de Friedmann e De Sitter, os quais também desenvolveram modelos do universo em expansão. No campo observacional, anteriores a Hubble e Humason, os astrônomos Slipher, Landmark e Silberstein já observavam as velocidades de afastamento das nebulosas, porém, utilizavam métodos pouco confiáveis e decisivos na medição das distâncias, deixando suas observações com níveis de incertezas elevados (DAMINELI, 2003). Reforçar o caráter de continuidade da ciência e do tempo que se leva para averiguar hipóteses e teorias é necessário.

## 5. Palavras finais

Este artigo mostrou uma breve história sobre os acontecimentos que permearam as três primeiras décadas do século XX, referentes à descoberta da expansão do universo. A narrativa histórica, aliada aos conhecimentos de cunho um pouco mais técnico, procurou transmitir o conhecimento de uma forma completa, visando a imersão do professor no contexto dos eventos. Compreender a história desses acontecimentos é importante para entender o significado da mudança de visão sobre a estrutura dinâmica do universo, impulsionada pelas pesquisas de todos os cientistas aqui citados, principalmente, as observações de Edwin Hubble e Milton Humason, e os trabalhos de Georges Lemaitre e Aleksander Friedman. Durante quase toda a história da humanidade, as concepções sobre o universo estavam todas bem distantes de modelos que admitissem a sua dinâmica, muito menos a sua expansão. Por isso, a descoberta da expansão do universo deve ser um fato reconhecido como uma das grandes revoluções científicas da história e, portanto, deve ser estudada a fundo sobre seus aspectos históricos e técnicos. Ela também marca o nascimento da Cosmologia Moderna.

### Perguntas de fixação

**a) Imagine se você, enquanto conversa com sua avó (ou alguém mais velho que seja próximo a você) sobre as coisas que aprende na escola, precise explicar sobre a expansão do universo. Como você explicaria a ela? Faça um pequeno texto explicando os conceitos principais.**

*As atividades de escrita “cartas ou mensagens a um parente/amigo mais velho” podem parecer simples demais ou repetitivas, mas não são. Nelas podemos analisar como, de fato, o aluno “interiorizou” o conteúdo que foi trabalhado com ele. Ao pedir para “explicar a alguém mais velho”, na verdade, estamos estimulando que ele use a maneira mais clara e objetiva de se expressar em relação ao que viu e refletiu. Richard Feynman utilizava um mecanismo de aprendizagem similar, montando “apresentações” sobre algum assunto que ele tinha cabado de estudar.*

### Bibliografia

BLOCK, David L. A hubble eclipse: Lemaitre and censorship. In: **Georges Lemaitre: Life, Science and Legacy. Proceedings of the 80th Anniversary Conference held by the Faraday Institute, St Edmund's College, Cambridge.** Preprint: Arxiv. 2011. p. 3928v2.

CHRISTIANSON, Gale E. **Edwin Hubble: Mariner of the Nebulae.** University of Chicago Press, 1996.

DAMINELLI, Augusto. Hubble: a expansão do universo. **São Paulo: Odysseus**, 2003.

DE SITTER, Willem. Einstein's theory of gravitation and its astronomical consequences. Third paper. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 78, p. 3-28, 1917.

DE SITTER, Willem. On the curvature of space. In: **Proc. Kon. Ned. Akad. Wet.** 1917. p. 229-243.

DE SITTER, Willem. On the relativity of inertia. Remarks concerning Einstein's latest hypothesis. **Proc. Kon. Ned. Acad. Wet.**, v. 19, n. 2, p. 1217-1225, 1917.

EINSTEIN, Albert. Cosmological considerations in the general theory of relativity. **Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Berlin (Math. Phys.)**, v. 1917, p. 142-152, 1917.

EINSTEIN, Albert; PEREIRA, Carlos Almeida. **A teoria da relatividade especial e geral.** Contraponto Editora, 2003.

FAGUNDES, Helio V. Modelos Cosmológicos e a Aceleração do Universo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 247, 2002.

GIL, Salvador. Experimentos de Física de bajo costo, usando TIC's. **Editorial Alfaomega. Argentina**, 2014.

HOBBSAWM, Eric. **Era dos extremos: o breve século XX.** Editora Companhia das Letras, 1995.

HOSKIN, M. A. The 'Great Debate': What Really Happened. **Journal for the History of Astronomy**, v. 7, p. 169, 1976.

HUBBLE, Edwin. A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 15, n. 3, p. 168-173, 1929.

HUBBLE, Edwin P. Extragalactic nebulae. **The Astrophysical Journal**, v. 64, 1926.

HUBBLE, Edwin; HUMASON, Milton L. The velocity-distance relation among extragalactic nebulae. **The Astrophysical Journal**, v. 74, p. 43, 1931.

HUBBLE, E. P. The classification of spiral nebulae. **The Observatory**, v. 50, p. 276-281, 1927.

LEAVITT, Henrietta S.; PICKERING, Edward C. Periods of 25 Variable Stars in the Small Magellanic Cloud. **Harvard College Observatory Circular**, v. 173, p. 1-3, 1912.

LEDOUX, Paul; WALRAVEN, Th. Variable stars. In: **Astrophysics II: Stellar Structure/Astrophysik II: Sternaufbau.** Springer, Berlin, Heidelberg, 1958. p. 353-604.

LEMAITRE, Georges. A homogeneous universe of constant mass and increasing radius accounting for the radial velocity of extra-galactic nebulae. In: **Annales de la Société Scientifique de Bruxelles.** 1927. p. 49-59.

LEMAÎTRE, Georges Henri Joseph Édouard. Georges Henri Joseph Édouard Lemaître Wiki, Biography & Information.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. Astronomia e astrofísica. **São Paulo: Livraria da Física**, 4ª ed., 2017.

RIESS, Adam G. et al. Milky Way Cepheid standards for measuring cosmic distances and application to Gaia DR2: implications for the Hubble constant. **The Astrophysical Journal**, v. 861, n. 2, p. 126, 2018.

ROEMER, Elizabeth. Activity in comets at large heliocentric distance. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 74, p. 351, 1962.

SILVA, Vinícius Carvalho. O “princípio de incerteza” de Werner Heisenberg e suas interpretações ontológica, epistemológica, tecnológica e estatística. In: **Scientiarum Historia VII: 7º Congresso de História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia**. 2014.

SLIPHER, Vesto Melvin. The radial velocity of the Andromeda Nebula. **Lowell Observatory Bulletin**, v. 2, p. 56-57, 1913.

SOARES, Domingos. O universo estático de Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 1302, 2012.

STACHEL, John. O ano miraculoso de Einstein: cinco artigos que mudaram a face da Física. **Tradução: Alexandre Carlos Tort. Rio de Janeiro: Editora UFRJ**, 2001.

THOMPSON, Laird A. Vesto Slipher and the first galaxy redshifts. **arXiv preprint arXiv:1108.4864**, 2011.

TRIMBLE, Virginia. H<sub>0</sub>: The incredible shrinking constant, 1925-1975. **Publications of the Astronomical Society of the Pacific**, v. 108, n. 730, p. 1073, 1996.

VOLLER, Ronald L. **The muleskinner and the stars: the life and times of Milton la Salle Humason, astronomer**. Springer, 2015.

WAGA, Ioav. A expansão do universo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 2, p. 163-175, 2000.

WARNER, Brian D. Lightcurve analysis for asteroids 242, 893, 921, 1373, 1853, 2120, 2448 3022, 6490, 6517, 7187, 77

## Capítulo 7

### A história térmica do Universo – Do Big Bang até hoje

*“Neste capítulo apresentaremos conceitos a teoria do Big Bang. Espera-se que, ao final, os alunos possam ter uma maior compreensão sobre essa teoria, a qual é hoje a mais aceita no mundo acadêmico como a explicação do **passado do Universo**. É muito importante deixar claro que a teoria do Big Bang trata de assuntos até um tempo específico da história do Universo. O que veio antes de desse tempo ainda não possui comprovações observacionais e é tema de profundas e complexas investigações. No entanto, a teoria do Big Bang, em si, é fortemente apoiada em evidências observacionais, ou seja, sabemos como era o Universo primitivo, porém, ainda não sabemos ao certo o que veio antes desse tempo ”*

#### Introdução

É atribuído a Georges Lemaître, o padre e cosmólogo belga, o qual também propôs um dos primeiros modelos do universo em expansão, como sendo um dos criadores da teoria que viria a ser conhecida como Big Bang<sup>74</sup>. Em 1931, a sua hipótese sobre a possível *origem* do universo defendia que este teria evoluído a partir de um “átomo primordial”, em estado

---

<sup>74</sup> “Big Bang” é um termo inglês que significa grande explosão. Foi usado em 1949 por Fred Hoyle, um cosmólogo inglês, ao se referir pejorativamente à teoria a qual ele não aceitava como correta. É um termo que pode criar uma falsa impressão de que o universo tenha começado com uma “explosão”, quando na verdade essa não é uma interpretação correta, como veremos a seguir.

estacionário, extremamente quente e denso, não fazendo menção a qualquer espécie de “explosão” e nem a uma possível idade do universo. Apenas cunhava a expansão contínua (tal como vimos no capítulo anterior) a partir das condições iniciais. Foi uma hipótese que não foi levada a sério por muitos anos e, somente no final da década de 40, o físico russo George Gamow, juntamente outros cientistas, a retomaram, propondo um novo modelo, o qual também recebeu pouca atenção<sup>75</sup>. Gamow utilizava as ideias de novos campos de estudos da física, tais como a física quântica e a nuclear. Depois de realizar alguns cálculos, encarregou seu aluno, Ralph Alpher, de terminá-los<sup>76</sup>. Nesses cálculos, Gamow utilizou as equações da física nuclear para tentar entender quais seriam as condições das reações no “átomo primordial” de Lemaître. Ele argumentava que, se a hipótese de Lemaître estivesse correta, a extrema temperatura e densidade do início favoreceriam as reações nucleares. Os resultados dos cálculos mostraram que a composição do universo deveria ser de valores próximos a 75% para o hidrogênio, 25% para o hélio e o restante para todos os outros elementos químicos.

No entanto, outra teoria alternativa mais aceita no meio acadêmico da época era a do Estado Estacionário, proposta por Fred Hoyle, Thomas Gold e Herman Bondi em 1948<sup>77</sup>. Nela, o universo teria sempre existido da maneira como é atualmente, não tendo um início determinado. A teoria não negava a expansão do universo, fato esse já comprovado na época, mas supunha a criação de matéria espontânea, de acordo com alguns princípios quânticos, como forma de manter a densidade constante do universo, uma vez que ele se expande. Porém, uma das histórias mais surpreendentes e improváveis da recém-nascida Cosmologia Moderna iria ajudar a contestar essa visão.

### **Os cocôs de pombos e a radiação cósmica de fundo**

A teoria do Big Bang prevê um início muito quente e denso para o universo, de onde ele vai se esfriando, conforme o tempo passa e se expande. Alguns cientistas acreditavam ser possível medir essa temperatura. Os modelos do final da década de 40 e 50 estimavam um valor entre 1K (graus Kelvin) e 50K, sendo esse último o limite superior máximo calculado por Gamow. Ralph Alpher e Hans Bethe, outro físico que começou a trabalhar com Gamow, chegaram numa faixa menor entre 1K e 10K. Robert Dicke, que era um astrônomo de outra equipe, calculou uma faixa mais precisa, algo entre 5K e 10K. Concomitante a esses desenvolvimentos teóricos, havia equipes trabalhando para desenvolver equipamentos que fossem capazes de detectar a radiação e medir o valor da temperatura. Dentre elas, a equipe do próprio Robert Dicke e outra soviética, de Andrei Doroshkevich e Igor Novikov. Juntamente com Dicke, também estavam Peter Rool, David Wilkinson e James Peebles<sup>78</sup>.

É aí que a história tem um acontecimento muito inesperado e que mais uma vez nos mostra como a ciência se constrói em um processo contínuo, o qual, muitas vezes, não é linear (lembrar sobre o que vimos no primeiro capítulo “Uma conversa sobre Ciência”). Há alguns

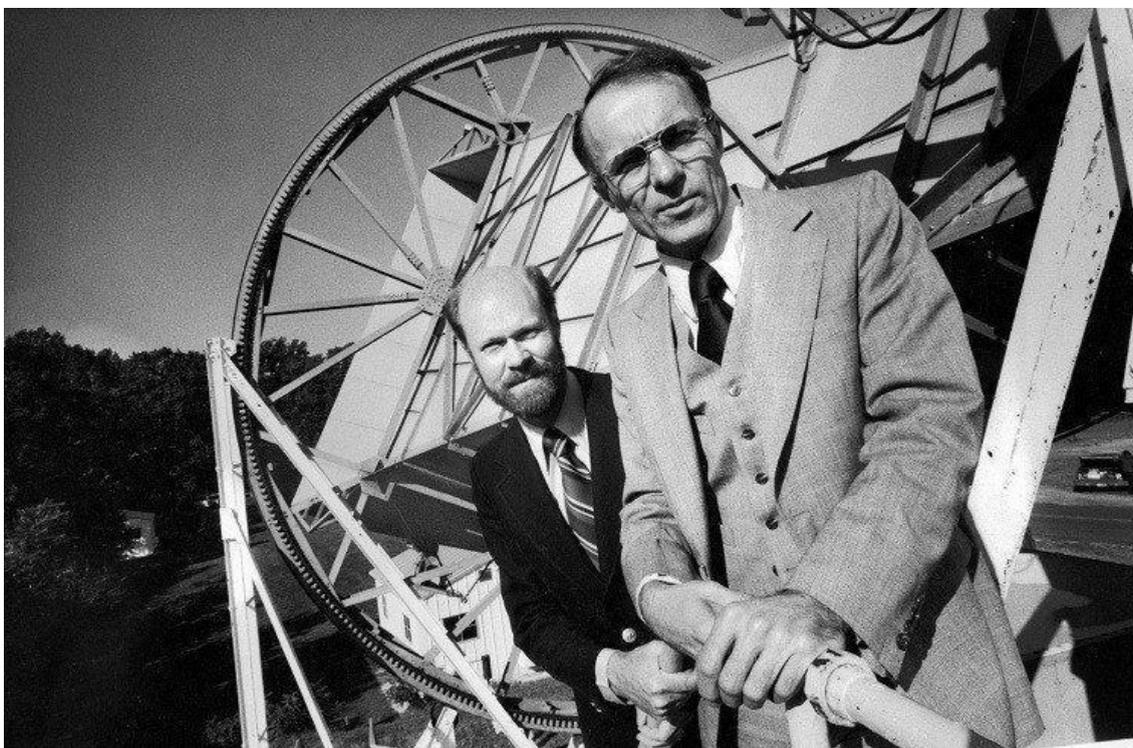
<sup>75</sup> Ver em “Cosmologia e ensino de Ciências: Promessas e Problemas”, de Helge Kragh.

<sup>76</sup> Ver em “Depois do Big Bang – Da origem ao fim do Universo”, p.42, de Alberto Fernández Soto.

<sup>77</sup> Pode ser acessado em: <[http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle\\_query?bibcode=1948MNRAS.108..372H&db\\_key=AST&page\\_ind=0&data\\_type=GIF&type=SCREEN\\_VIEW&classic=YES](http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?bibcode=1948MNRAS.108..372H&db_key=AST&page_ind=0&data_type=GIF&type=SCREEN_VIEW&classic=YES)>

<sup>78</sup> SOTO, Alberto Fernandez. **Depois do Big Bang – Da origem ao fim do Universo**. Lisboa: Atlântico Press, p. 52, 2016.

quilômetros, afastados da equipe de Dicke, dois físicos e rádio-astrônomos<sup>79</sup>, chamados Arno Penzias e Robert Wilson, enfrentavam um problema nos sinais das antenas dos Laboratórios Bell, onde trabalhavam com comunicação de rádio, na implementação de um novo sistema. As antenas destinadas ao novo e promissor sistema de comunicações, baseado em sinais transmitidos por satélites, estavam captando um sinal de interferência que parecia ser constante. Eles já haviam calibrado muito bem o equipamento, inclusive, utilizavam uma fonte padronizada, com foco frio de hélio para filtrar qualquer interferência. Chegaram a pensar ser o cocô de pombos presente na estrutura metálica das antenas. Depois de limpá-las e expulsar os pombos que haviam feito morada lá, perceberam que o sinal ainda era o mesmo - constante, vindo de todas as direções e não sofria qualquer variação nos meses do ano. O sinal era muito fraco e a estimativa da sua temperatura era de, aproximadamente, 3,5 K. O fato da interferência vir de todas as direções também invalidava a explicação de que ela provinha de uma fonte terrestre, como, por exemplo, transmissores de onda de outras estações. Durante meses, trabalharam para entender de onde vinha a tal “interferência”. Comentaram com vários colegas e profissionais da área, até que Bernard Burke, um astrônomo do Massachusetts Institute of Technology (MIT), sugeriu que eles deveriam entrar em contato com um tal pesquisador, chamado Robert Dicke... Estava feito o elo! Burke já conhecia o trabalho de Dicke e não hesitou em pedir que os dois fossem procurá-lo, pois ele poderia ter a explicação. Como é contado no livro de Alberto Soto (Depois do Big Bang – da origem ao fim do universo, p.54), Dicke estava comendo um sanduíche quando recebeu o telefonema e seus colegas o ouviram repetir as palavras “antena”, “sinal contínuo”, “todas as direções” e “fundo constante”. Quando ele desligou o telefone e olhou para a sua equipe, disse: “Bem, rapazes, parece que fomos superados”.

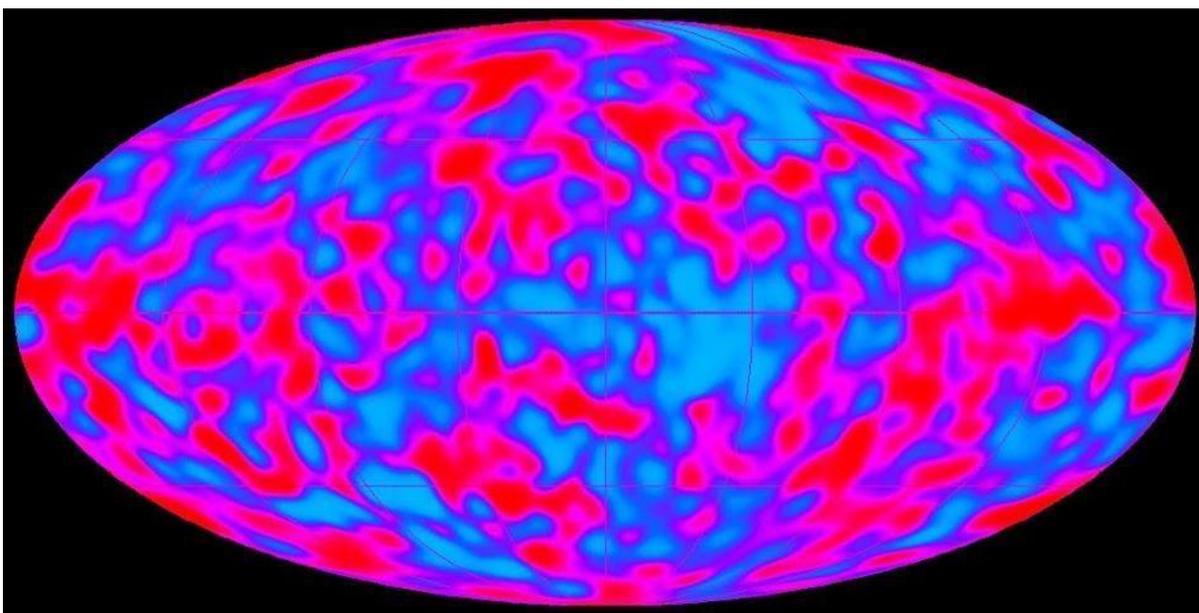


---

<sup>79</sup> A radioastronomia é um ramo da astronomia que estuda o universo a partir de ondas eletromagnéticas vindas dos objetos celestes.

Arno Penzias (primeiro plano) e Robert Wilson e a antena onde detectaram a radiação cósmica de fundo. Fonte: *Sophiaphysics.ie* (<http://sophiaphysics.ie/index.php/arno-penzias-robert-wilson-and-the-story-of-the-origins-of-the-universe/>)

As duas equipes começaram a trabalhar juntas, publicando dois artigos em julho de 1965, na revista *Astrophysical Journal*. O primeiro estipulava as bases teóricas da radiação captada<sup>80</sup>, e o segundo o trabalho de detecção feito por Penzias e Wilson<sup>81</sup>. Somente Penzias e Wilson receberam o prêmio Nobel de física em 1978. Hoje, devido às melhores condições tecnológicas do que da época do achado, temos um mapa mais específico dessa radiação de fundo<sup>82</sup> e sabemos, com altíssima precisão, que sua temperatura é de 2,7K. Em 1992, o satélite COBE, da NASA, foi o instrumento utilizado para mapear a radiação de fundo. Foram detectadas diferenças sutis em sua disposição pelo espaço, nos revelando que o universo primitivo possuía algumas pequenas regiões com diferentes densidades de energia.



Mapa gerado pelo satélite COBE, entre os anos de 1990 e 1992. As diferentes tonalidades representam as ligeiras variações de temperatura e densidade da radiação cósmica de fundo. Fonte: Nasa ([https://www.nasa.gov/topics/universe/features/cobe\\_20th.html](https://www.nasa.gov/topics/universe/features/cobe_20th.html))

Mas por que a teoria do Big Bang passou a ser aceita com a detecção da radiação cósmica de fundo?

### Entendendo alguns princípios físicos da radiação cósmica de fundo e do Big Bang

A teoria do Big Bang é válida para explicar o universo **a partir de um instante de tempo específico**. Esse instante é chamado de tempo de Planck<sup>83</sup> e equivale a  $10^{-43}$ s. Antes desse

<sup>80</sup> DICKE, Robert H. et al. Cosmic Black-Body Radiation. *The Astrophysical Journal*, v. 142, p. 414-419, 1965.

<sup>81</sup> PENZIAS, Arno A.; WILSON, Robert Woodrow. A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s. *The Astrophysical Journal*, v. 142, p. 419-421, 1965.

<sup>82</sup> A radiação cósmica de fundo pode ser entendida como a medida da temperatura do Universo, um resquício da luz primordial que começou a viajar quando ele estava em seu início e continua viajando até hoje, ocupando predominantemente de forma homogênea todas as suas regiões. Veremos mais à frente.

<sup>83</sup> Existem algumas constantes fundamentais na Física: velocidade da luz ( $c = 299.792.458\text{m/s}$ ), constante de

instante, chamamos tudo de “Era de Planck”, e não há ainda uma teoria que explique, definitivamente, as leis que regem esse período. O universo nessa fase é infinitamente pequeno e denso, de forma que as quatro forças fundamentais da natureza<sup>84</sup> estavam unidas. No tempo de Planck, a temperatura era de  $10^{32}$ K e a força gravitacional se separou das outras três. Aos  $10^{-35}$  a força nuclear forte se separa, deixando apenas a força eletro-fraca (eletromagnética + nuclear fraca) unida. Quando a temperatura já estava em  $10^{15}$ K no tempo de  $10^{-10}$ s, a última separação das forças ocorreu, prevalecendo no universo as quatro forças separadas.

#### Separação das forças elementares

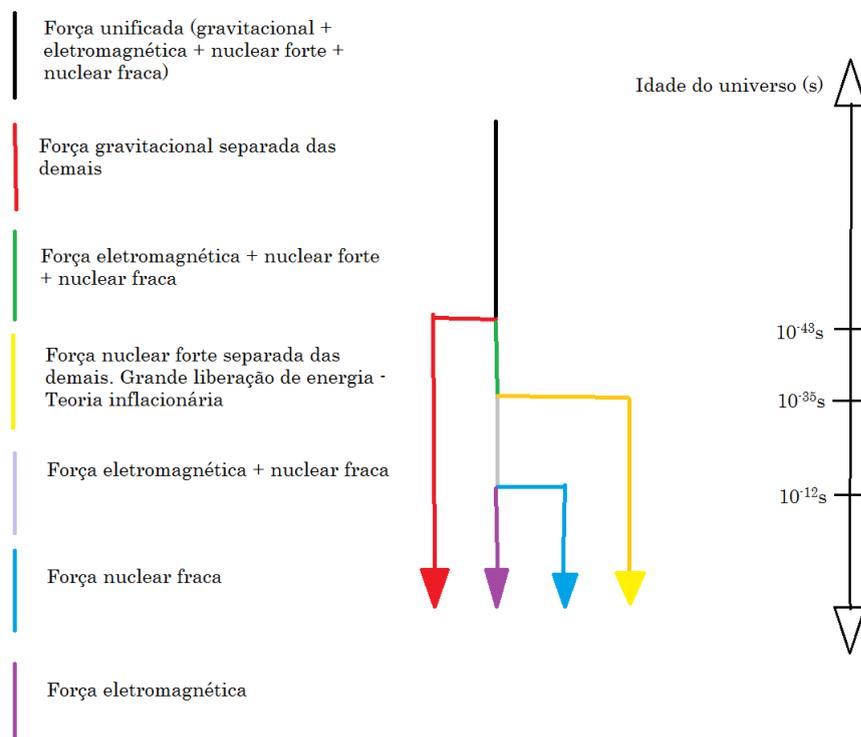


Diagrama representando a separação das forças no Universo primordial. (Fonte: do autor)

O universo desse instante está repleto de fótons que colidem, produzindo partículas e antipartículas<sup>85</sup>, as quais se aniquilavam, formando novamente a radiação. Quando a temperatura baixou para  $10^{14}$ K, começa a formação do que conhecemos por prótons e nêutrons (e suas antipartículas). No instante em que elas colidiam com suas antipartículas, eram aniquiladas, produzindo novamente energia, porém, essa proporção não era igual. Existia um número superior de partículas ao de antimatéria, o que contribuiu para que mais partículas restassem ao final das reações e, assim, fosse possível existir matéria no Universo. Aos  $10^{-4}$  segundos, a produção de nêutrons e prótons cessa, permanecendo esses apenas em colisão com suas respectivas antipartículas, num processo de aniquilação e produção de fótons, e apenas os elétrons e suas antipartículas estão sendo gerados. Quando estava com 1 segundo de idade, o

gravitação universal ( $G=6,6742 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{Kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ ) e constante de Planck ( $h=1,054571 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$ ).

<sup>84</sup> Resumidamente: gravitacional (entre as massas dos corpos), eletromagnética (entre as cargas elétricas dos átomos), nuclear fraca (entre elétrons e núcleo do átomo) nuclear forte (entre as partículas que formam o núcleo).

<sup>85</sup> A grosso modo, antipartículas tem a mesma massa que a sua partícula correspondente, porém cargas opostas. Quando elas se chocam, são aniquiladas, produzindo energia novamente.

universo possuía temperatura tal que a produção de elétrons também cessou. As partículas e antipartículas continuaram se aniquilando mutuamente, produzindo elétrons para o Universo, mas a energia já não era suficiente para que o choque de fótons produzisse matéria. O Universo, nesse instante, é um aglomerado de prótons, nêutrons, elétrons livres e muitos fótons, todos colidindo entre si. Quando a idade do Universo era de 3 minutos, os primeiros núcleos leves conseguem se formar, sendo o hidrogênio e hélio os primeiros em maior quantidade, e um pouco de lítio. Essa fase é o que chamamos de nucleossíntese primordial e ela vai durar até, aproximadamente, 380.000 anos. Durante todo esse tempo, as colisões entre fótons e matéria acontecem quase que incessantemente, fazendo com a luz ficasse aprisionada pela matéria. O Universo tinha um aspecto opaco, pois os raios de luz não conseguiam viajar livremente e seu conteúdo era uma mistura de núcleos de hidrogênio e hélio, juntamente com fótons e elétrons livres<sup>86</sup>.

Quando o Universo estava com temperatura de 3000K (380.000 anos após seu início), a energia já baixou suficientemente para que os núcleos formados possam aprisionar os elétrons e os primeiros átomos neutros de hidrogênio e hélio são formados. Dessa forma, a luz (fótons) já não mais colide com a matéria e pode viajar em linha reta, livremente, pelo espaço. É justamente essa luz, à temperatura inicial de 3000k, a radiação cósmica de fundo. Alberto Soto faz uso, em seu livro aqui já citado (p.49), da analogia de um cosmólogo americano chamado Charley Lineweaver. Vamos imaginar que estamos em um campo infinitamente grande, completamente cheio de pessoas. Iremos todos começar a gritar, com toda força, juntos e, em um determinado instante, iremos parar também no mesmo instante. O jogo começa e estamos gritando muito alto, por determinado período de tempo. Quando chega o momento combinado, cessamos de gritar. O que acontece? Supondo que a velocidade do som seja de 340m/s, quando todos paramos de gritar a intensidade do som diminuiu, mas não há ainda silêncio absoluto. Ao passar um segundo após esse instante, o som das pessoas que estão há 340 metros à sua volta distantes chegam até você. Quando se passam 3 segundos, chega o som dos que estavam há, aproximadamente, 1km afastados. É claro que conforme o tempo passa, precisaremos de instrumentos mais precisos para captar as ondas sonoras que vêm de mais longe, porém, elas continuam chegando, mesmo em frequências que nosso ouvido não pode captar. Se, por exemplo, para de chegar som de alguma direção, podemos concluir que naquela direção e distância não haviam pessoas gritando no instante em que todos nós estávamos bradando nossos pulmões. Ao passar 1 hora, nos chegam sons das pessoas que estavam a mais ou menos 1200 km. Elas já podem até terem ido embora para suas casas, mas a partir dos sons que nos chegam sabemos que, há uma hora, estavam naquela posição, afastadas de nós a 1200Km, gritando.

Nessa analogia, o som representa a luz que viaja e se choca conosco, que fazemos o papel das partículas. Enquanto todos gritamos juntos, é como se fosse o estado antes dos 380.000 anos de idade do Universo. O momento em que paramos representa quando a luz começa a viajar livremente em todas as direções e conseguimos captar o sinal com maior nitidez pois ela não interage com mais nada. Hoje, quando detectamos a radiação cósmica de fundo, estamos

---

<sup>86</sup> SOTO, Alberto Fernandez. **Depois do Big Bang – Da origem ao fim do Universo**. Lisboa: Atlântico Press, p.47-48, 2016.

recebendo um sinal gerado há aproximadamente 13,5 bilhões de anos atrás<sup>87</sup>, uma foto do seu estado inicial.

A teoria do Big Bang precisou de muitas refinações e aprimoramentos e é a mais aceita nos dias de hoje como a teoria que explica a *infância* do Universo<sup>88</sup>. A detecção da radiação cósmica de fundo foi um marco para a teoria, pois mostrou como suas previsões estavam corretas. Alguns problemas surgiram na teoria do Big Bang em relação à homogeneidade da radiação cósmica de fundo e à planicidade tridimensional do universo (por observações, sustenta-se que o universo seja plano, mas pelo modelo do Big Bang ele deveria apresentar certa curvatura, no entanto, não é o que se observa). Uma teoria que se soma a do Big Bang é a da Inflação Cósmica. Resumidamente, a essa teoria prediz que quando a força nuclear forte se separou das demais, ela liberou uma quantidade imensa de energia que provocou uma inflação violenta no universo, indo este do tamanho de um núcleo atômico para o do sistema solar em  $10^{-36}$ s. A Inflação Cósmica ou teoria inflacionária resolve as duas questões apresentadas aqui, pois, uma expansão rápida e brusca como essa manteria a homogeneidade das regiões e favorece uma geometria tridimensional plana para o Universo. Um pequeno resumo:

<b>Idade do Universo</b>	<b>Temperatura (K)</b>	
$10^{-43}$ s	$10^{32}$	<i>Tempo de Planck. A gravidade se separa das outras 3 forças.</i>
$10^{-35}$ s	$10^{25}$	<i>A força nuclear forte se separa das forças magnética e nuclear fraca.</i>
$10^{-32}$ s	$10^{27}$	<i>Inflação Cósmica causada pela energia liberada na etapa anterior.</i>
$10^{-10}$ s	$10^{15}$	<i>Força eletromagnética e nuclear fraca se separam. Era da radiação.</i>
$10^{-7}$ s	$10^{14}$	<i>São formados os prótons e suas antipartículas. Era das partículas pesadas.</i>
$10^{-1}$ s	$10^{12}$	<i>Formação dos elétrons e suas antipartículas. Era das partículas leves.</i>
3 min	$10^{10}$	<i>Nucleossíntese. Formação dos nêutrons e dos primeiros núcleos de hidrogênio, hélio e um pouco de lítio.</i>

<sup>87</sup> Tempo estimado em que aconteceu o Big Bang, baseado nos modelos e observações.

<sup>88</sup> Cuidado! Essa afirmação não significa “teoria definitiva” ou “já comprovada”. Por exemplo, sugere-se a consulta de vídeos e textos do cosmólogo brasileiro Mário Novello, o qual possui muitas considerações e reflexões sobre a Teoria do Big Bang. Recomenda-se <https://www.youtube.com/watch?v=88FG4v885GA>

$3,8 \times 10^5$ anos	$10^3$	<i>Recombinação. Núcleos atômicos capturam os elétrons formando os primeiros átomos neutros. A radiação vija livremente sem colidir com partículas.</i>
$1 \times 10^9$ anos	20	<i>Formam-se as primeiras galáxias.</i>
$1 \times 10^{10}$ anos	3	<i>Formação do sistema solar.</i>

### Palavras finais

É importante não concebermos a ideia do Big Bang como uma explosão, pois uma explosão *acontece dentro de um espaço e num determinado instante do tempo*. O Big Bang é a própria origem do espaço e do tempo, não havendo nenhuma localização ou instante antes do seu acontecimento. Dessa forma, ao pensarmos em uma “explosão”, inevitavelmente, pensaremos em algo explodindo em um certo local e instante já existentes quando, na verdade, o Big Bang representa o início do espaço-tempo. Muitos astrônomos e cosmólogos também não acham fácil visualizar esse conceito. Mais importante do que isso é a busca do conhecimento e se aprofundar no assunto.

Como um pequeno resumo das provas observacionais do Big Bang, as quais, em conjunto, sustentam a teoria com alto grau de confiabilidade, apresentamos:

- Medições da distribuição de matéria visível<sup>89</sup> no universo como sendo, aproximadamente, 75% de hidrogênio, 25% de hélio e o restante dos outros elementos.
- A radiação cósmica de fundo homogênea em todas as direções a uma temperatura de 2,7K, a qual bate com o modelo e condições iniciais do Big Bang. Abaixo, colocamos as palavras de James Peebles<sup>90</sup>, um envolvido direto nos trabalhos de Robert Dicke na época da descoberta, escritas em seu livro “Principles of Physical Cosmology” (Princípios de Cosmologia Física):

*“A descoberta da radiação cósmica de fundo há 25 anos atrás teve um profundo efeito nos rumos e andamento da pesquisa em cosmologia física. Sua presença torna a imagem envolvente de Friedmann – Lemaître mais credível, porque é difícil conceber como o espectro térmico característico poderia ter sido produzido no universo como ele é em uma época presente. Isto é, a radiação cósmica de fundo é considerada uma evidência quase tangível de que o universo se expandiu de um estado denso. Isto é o que conduziu a maioria das pessoas a abandonar a cosmologia do estado estacionário.”*

James Peebles, Principles of Physical Cosmology, p. 134.

<sup>89</sup> Iremos estudar t  
<sup>90</sup> Vencedor do pr  
 gosta do termo “Bi

gia. Também não

- A expansão do Universo, fazendo com que as galáxias se afastem conforme o tempo passa. Ao *invertermos o relógio*, o Universo culmina em um ponto infinitamente pequeno com densidade e temperatura muito elevadas.

**Pra conhecer mais:**

- **Os Três Primeiros Minutos do Universo – Steven Weinberg.**

**Perguntas de fixação:**

**Explique a teoria do Big Bang e suas evidências observacionais. Ela fala sobre a origem do Universo?**

## Capítulo 8

### Buracos Negros, carecas ou cabeludos?

*“Este capítulo contém informações sobre o que são buracos negros e como se formam. Também tratamos da primeira imagem de um, divulgada em 2019. O texto pode ser trabalhado diretamente com os alunos. Os buracos negros são um dos fenômenos mais surpreendentes e instigantes da atualidade e esse aspecto deve ser ressaltado. O prêmio Nobel de 2020 também está ligado diretamente ao assunto, sendo os três ganhadores cientistas que desenvolveram trabalhos com buracos negros”.*

#### **Introdução**

Os buracos negros são objetos de estudos recentes em nossa história científica, e a primeira imagem real de um, reconstruída a partir de ondas de rádios, foi obtida somente em 2019. Até então, sua existência era indicada por implicações matemáticas, oriundas de equações da Teoria da Relatividade Geral e os primeiros indícios físicos vieram através da captação de ondas de rádio nos anos 70<sup>91</sup>. Não se sabe ainda hoje se o que cai em seu interior poderá sair e, caso positivo, como saíra. Será a *informação* toda perdida? Os buracos negros emitem

---

<sup>91</sup>FRANCHI, CMGG; NETO, Manoel F. Borges. Breve História dos buracos negros. p.48-49, 2014.

algum tipo de sinal? Todas essas questões hoje são muito controversas e não se tem uma resposta em definitivo. Stephen Hawking foi um dos cientistas que estudaram as questões envolvendo os buracos negros e deixou alguns trabalhos<sup>92</sup> que necessitam de mais avanços e testes. Para sintetizar um pouco o quão exótico são os buracos

negros, fiquemos com a fala de Stephen Hawking, em uma palestra<sup>93</sup> dada sobre o assunto:

*“Dizem que às vezes a realidade é mais estranha que a ficção. Em nenhum lugar isso é mais verdadeiro que no caso dos buracos negros. Os buracos negros são mais estranhos que qualquer coisa já sonhada por escritores de ficção científica.”*

## Evolução estelar

Antes de falarmos especificamente sobre os buracos negros, primeiro é necessário entender como é o ciclo de vida das estrelas, pois é a partir delas que podem se formar os buracos negro.

As estrelas nascem quando nuvens de poeira e gás entram em colapso, por causa da atração gravitacional, concentrando o seu material em um único ponto. O gatilho que pode levar essas nuvens se agruparem dessa maneira é a atração gravitacional, causada pelos movimentos rotacionais das galáxias, interação com campos gravitacionais de estrelas ou a explosão de uma supernova<sup>94</sup>. A nuvem colapsada entra em movimento circular, se tornando um disco achatado. Nesse estágio ela é chamada de *protoestrela*. A medida que o

## Fusão Nuclear

A principal reação que ocorre no núcleo de uma estrela é a fusão nuclear. Basicamente ela consiste da reação entre dois átomos de menor massa que fundem para a formação de um átomo de maior massa mais a liberação de uma grande quantidade de energia. No caso das estrelas, o principal combustível gerador de energia é o hidrogênio (especificamente o deutério, que contém 1 próton, 1 nêutron e 1 elétron). Quando dois átomos de deutério se fundem, acontece a formação de um átomo de hélio mais a liberação de energia. Quanto maiores as estrelas, mais elementos, além do hélio, serão produzidos, pois, o núcleo será capaz de comprimir mais matéria e se aquecer, possibilitando novas fusões de elementos pesados.

<sup>92</sup> Um resumo sobre o último artigo envolvendo buracos negros pode ser encontrado aqui: <https://canaltech.com.br/espaco/ultimo-artigo-de-stephen-hawking-sobre-buracos-negros-e-publicado-124662/>

<sup>93</sup> HAWKING, Stephen. Buracos Negros: Palestra da BBC Reith Lectures. Editora Intrínseca, 2017.

<sup>94</sup> Fase final da vida uma estrela “supergigante”. Imensa explosão que libera material estelar.

material vai se acumulando em seu centro, o que dará origem ao *núcleo* da estrela, ela vai ficando mais densa e quente, até que o estado de energia é tal que as reações nucleares (ver quadro à direita) comecem e a estrela passa a brilhar.



*Nebulosa Trifida – região de formação de estrelas. (Fonte: SpaceToday - <https://spacetoday.com.br/a-bela-nebulosa-trifida-2/>)*

Depois de formadas, as estrelas jovens continuam cercadas por nuvens de gás e poeira, sendo parte desse material absorvido por elas e o restante ejetado.

A fusão nuclear do hidrogênio no núcleo da estrela é a sua principal forma de gerar energia. Quando o hidrogênio do núcleo se esgota, ela passa a queimá-lo em suas camadas mais externas (pode-se fazer uma analogia estrutural entre as camadas da estrela e as de uma cebola). Essas camadas vão inflando, devido à radiação que vem de dentro, e também se esfriando. Estrelas com a massa aproximada a do Sol tornam-se gigantes vermelhas, e quando o seu núcleo se desintegra (devido ao esgotamento do hidrogênio), ele se torna quente o suficiente (energética) para começar a queimar o hélio que produziu. Estrelas como o Sol conseguem fundir apenas hidrogênio e hélio. A medida que as camadas vão se exaurindo e começa a queima de elementos de uma camada mais externa, a instabilidade da estrela aumenta e as camadas internas do seu núcleo vão se desintegrando. A estrela vai liberando material em forma de uma nuvem (nebulosa) ao seu redor. Esse fenômeno se chama *nebulosa planetária*, pois se assemelha a planetas orbitando a estrela. O que resta é uma pequena estrela branca, chamada *anã branca*, a qual brilhará por alguns milhões de anos e se tornará uma *anã negra*<sup>95</sup>. Caso a anã branca possua alguma outra estrela ou material estelar em suas redondezas, sua gravidade é capaz de capturá-los e ela ainda viverá por muito mais tempo.

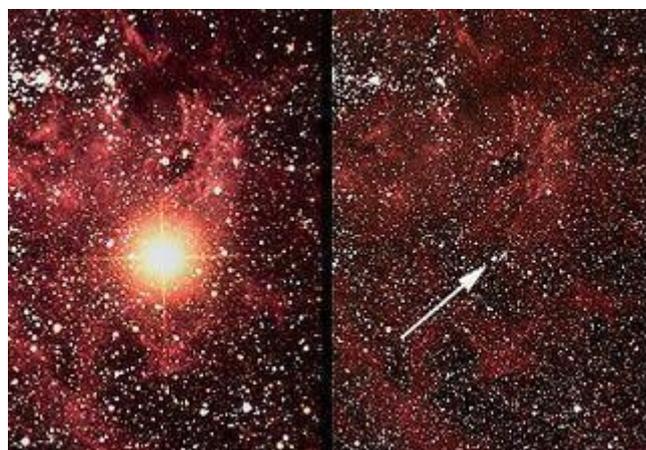
---

<sup>95</sup> Nunca foram detectadas, mas os modelos preveem que elas possam existir. Além da dificuldade de *enxergá-las*, pois emitiriam muito pouca radiação, discute-se que ainda não haveria tempo para formação de anãs negras.



Nebulosa do Esquimó – Um exemplo do fenômeno de nebulosa planetária. (Fonte: Wikipedia [https://pt.wikipedia.org/wiki/Nebulosa\\_do\\_Esquim%C3%B3](https://pt.wikipedia.org/wiki/Nebulosa_do_Esquim%C3%B3))

Para estrelas muito maiores que o Sol, com aproximadamente oito vezes a sua massa, a queima do hélio ainda não representará o fim. Isso se deve, basicamente, ao fato de que, possuindo mais massa (então mais combustível), a estrela é capaz de atingir temperaturas maiores e assim fundir elementos mais pesados em suas camadas externas. Ela também incha, atingindo tamanhos gigantescos (por isso são chamadas *supergigantes*). Entretanto, chega um instante em que a pressão da energia que emana de dentro da estrela diminui a ponto de ela perder sustentação das camadas e então ocorre o colapso. Ela se desintegra e uma explosão de matéria e energia ocorre, chamada *supernova*. Uma *supernova* pode ter o brilho 1 bilhão de vezes maior que a estrela original.



A comparação da explosão da supernova SN1987A (esquerda) com a mesma região do céu antes (direita), na Grande Nuvem de Magalhães. A supernova brilhou mais que toda a galáxia. (Fonte: Universidade Federal do Rio Grande do Sul -

<http://www.if.ufrgs.br/cref/camiladebom/Aulas/Pages/10.html> )

O que resta da explosão de uma supernova é uma grande nuvem de poeira e energia, contendo os elementos químicos formados durante as fusões nucleares da vida da estrela<sup>96</sup> e um núcleo de matéria muito massivo. Esse núcleo é uma estrela de nêutrons e, se a sua massa equivale a, aproximadamente, 1,44 a massa do Sol ou menos, ela permanecerá sendo uma estrela de nêutrons. Mas se esse valor for maior, é quando começa nossa viagem rumo aos buracos negros...

### Buracos negros

Embora a ideia que viria a ser o conceito de buracos negros já figurasse em interesses de alguns cientistas desde o século XVIII, com John Michell e Pierre Laplace, foi pouco tempo depois que Albert Einstein publicou a Teoria Geral da Relatividade, em 1915, que um físico e astrônomo alemão, chamado Karl Schwarzschild, encontrou uma solução para a equação de campo de Einstein<sup>97</sup>. Basicamente, essa solução implicava, dentre outras coisas, que, em um corpo esférico com massa grande o suficiente, a velocidade de escape na sua superfície seria igual à da luz. Caso essa matéria fosse concentrada em um volume de raio  $r_s$  (conhecido como raio de Schwarzschild, o qual limita o horizonte de eventos, de onde nem a luz pode escapar), existiria no seu centro um ponto onde toda a matéria pareceria se concentrar, criando uma singularidade no espaço-tempo de densidade infinita.

$$r_s = 2Gm/c^2$$

Onde  $r_s$  é o raio de Schwarzschild,  $G$  a constante gravitacional<sup>98</sup>,  $m$  a massa do corpo e  $c$  a velocidade da luz no vácuo.

Subrahmanyan Chandrasekhar foi um físico indiano que mostrou através de equações, aplicando a Teoria da Relatividade Geral, que estrelas anãs brancas podem ter um final diferente caso sua massa fosse superior a 1,44 massas solares<sup>99</sup>. Sob essas condições, quando o combustível da estrela começa a se esgotar, a atração gravitacional em seu núcleo se torna muito maior do que as forças que sustentam a estrutura, fazendo-a colapsar sobre si mesma, criando uma singularidade no espaço-tempo. Essa singularidade seria responsável por uma deformação grandiosa no tecido espaço tempo, porém, ela não é observável. Conseguimos observar apenas o horizonte de eventos, um limite de onde nada poderia *escapar*, devido à gravidade, nem mesmo a luz. Tempos depois, essas estruturas celestes viriam a ser conhecidas por buracos negros, e constituem um dos tantos exemplos na ciência em que o modelo matemático perdurou por anos antes das comprovações observacionais<sup>100</sup>

<sup>96</sup> Todos os átomos que compõem você e tudo mais que existe, foram forjados dentro das estrelas. Daí vem a famosa frase de Carl Sagan “somos formados de poeira das estrelas”.

<sup>97</sup> Equação da Teoria Geral da Relatividade que mostra como a matéria gera a gravidade e, ao mesmo tempo, como a gravidade afeta a matéria.

<sup>98</sup>  $G = 6,67408 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

<sup>99</sup> Esse valor limite ficou conhecido como “Limite de Chandrasekhar” - FRANCHI, CMGG; NETO, Manoel F. Borges. Breve História dos buracos negros. 2014.

<sup>100</sup> Lembrar dos casos das ondas gravitacionais da Relatividade Geral.



Fonte:

Universe Today (<https://www.universetoday.com/40852/chandrasekhar-limit/>)

Subrahmanyan Chandrasekhar (1910 - 1995) nasceu na cidade indiana chamada Lahore. Desde criança era curioso e gostava de aprender. Estudou em casa até os 12 anos, onde aprendeu matemática e física com seu pai. Em 1930, formou-se físico no Presidency College, em Madras e, logo em seguida, foi estudar na Inglaterra, através de uma bolsa de estudos concedida pelo governo indiano.

Foi nas décadas de 60 e 70 em que os estudos envolvendo esse assunto receberam muita atenção e desenvolvimentos por parte da comunidade acadêmica. Cientistas como Stephen Hawking, Roger Penrose, James Bardeen e Jacob Bekenstein foram alguns dos que empreenderam esforços para ampliar mais a teoria sobre buracos negros nesse período. Um dos trabalhos de destaque é o trabalho de Hawking, publicado em 1974, no qual ele demonstra matematicamente que é possível um buraco negro emitir algumas quantidades de radiação. A quantidade de radiação emitida seria inversamente proporcional à massa do buraco negro, assim, buracos negros menores emitiram quantidades detectáveis de radiação. A radiação que seria emitida por um buraco negro ficou conhecida como *radiação Hawking*, mas, no entanto, até hoje não foi detectada. Ele revelou, com bom humor, em eu dos seus últimos livros<sup>101</sup> algumas reflexões sobre o assunto:

*“Um buraco negro com a massa do sol vazaria partículas a uma taxa tão reduzida que não seríamos capazes de detectar o processo. No entanto, poderia haver miniburacos negros bem menores com a massa de, digamos, uma montanha. Um buraco negro do tamanho de uma montanha emitiria raios x e raios gama a uma taxa de 10 milhões de megawatts [...]. Os cientistas têm procurado miniburacos negros com essa massa, mas até o momento não encontraram nenhum. O que é uma pena, pois se alguém tivesse conseguido eu ganharia um prêmio Nobel”*

Em torno de um buraco negro, existe uma região chamada *horizonte de eventos*. Ela é o limite até onde pode-se *chegar perto* sem *cair* para dentro dele. É o ponto limite do raio de Schwarzschild. Ao ultrapassar o horizonte de eventos, o campo gravitacional é tão intenso que

<sup>101</sup> Buracos Negros – Palestras da BBC Reith Lectures, 2017, editora Intrínseca, p.44 – 45.

nada consegue escapar, e cai em direção ao centro do buraco negro. A matéria que é *sugada* para dentro forma uma espécie de halo em volta do horizonte de eventos, um fenômeno conhecido como *disco de acreção*. Uma analogia a esse fenômeno é quando uma grande quantidade de água escoar pelo ralo da pia, formando um halo em volta do orifício, enquanto escorre para dentro. No caso dos buracos negros, essa matéria escoando emite luz na frequência de raios x, e a detecção deles é uma das ferramentas empregadas por astrônomos para estudá-los.



Esta figura é uma representação de um buraco negro. Vemos o *buraco*, em si, ao centro, o que na verdade é um corpo, e, ao seu redor, o disco de acreção, formado pela matéria que está sendo sugada por ele. Pode parecer que ele esteja emitindo luz, mas não é. A luz que aparenta sair do buraco negro, na verdade está sendo expelida pela própria matéria antes de ultrapassar o horizonte de eventos. Esse fenômeno acontece em buracos negros muito massivos, os chamados supermassivos<sup>102</sup>.

Mas o que acontece com a matéria que cai dentro de um buraco negro? Ainda não se sabe ao certo, porém, a teoria mais aceita é que as únicas informações preservadas dessa matéria, depois que ela cruza o horizonte de eventos, são: massa, carga elétrica e momento angular<sup>103</sup>. Todo o resto seria perdido. Assim, *pouco importa para um buraco negro* se é você ou um navio gigantesco que ele está engolindo. De acordo com as teorias, somente as suas massas, cargas elétricas e momento angular importarão lá dentro. Você pode estar se perguntando o que veria se caso caísse dentro de um buraco negro. A questão é que, muito provavelmente, a medida que cruzasse o horizonte de eventos, seu corpo seria transformado em um *espaguete*, pois, supondo que você ultrapasse o horizonte primeiro com os pés, haveria uma tremenda diferença entre a atração gravitacional entre seus pés e sua cabeça. Quanto mais próximo se chega para perto do núcleo, maior são as consequências gravitacionais. O fato é que, até onde se sabe, não sobreviveríamos a essa tremenda força da natureza<sup>104</sup>.

<sup>102</sup> Para mais informações, acessar <https://jornal.usp.br/atualidades/quasares-buracos-negros-que-brilham-mais-do-que-as-galaxias/>

<sup>103</sup> Grandeza física relacionada ao movimento de rotação do corpo.

<sup>104</sup> Talvez, em um buraco negro muito grande, seria possível adentrar sem ser destruído completamente pela força gravitacional. Hawking comenta essa hipótese em "Buracos Negros – palestras da BBC Reith Lectures, p. 26-27."

E se pudéssemos observar alguém (ou coisa) caindo em um buraco negro, o que veríamos? Neste cenário, devemos nos lembrar que, de acordo com a Teoria Geral da Relatividade, a luz e o espaço-tempo são afetados pela gravidade, e quanto mais forte um campo gravitacional, maiores são os efeitos. Como buracos negros são corpos que produzem um grande campo gravitacional, perceberemos dois fatos bem *estranhos*. O primeiro é que, conforme o astronauta o qual observamos vai se aproximando do horizonte de eventos, enxergaríamos a sua figura com a cor deslocada para o vermelho, devido ao *desvio gravitacional da luz*, o qual vimos no tópico de Relatividade Geral. Não importa qual a cor original, a gravidade desviaria a luz para o vermelho. O segundo fato, mais peculiar ainda, é que nunca veríamos, de fato, o astronauta ultrapassar o horizonte de eventos, pois, para nós, o tempo no referencial do astronauta teria desacelerado de tal forma que enxergaríamos sua figura desacelerar, até parecer parar. A imagem, cada vez mais avermelhada, iria se tornando mais fraca até sumir, pois, a luz não conseguiria chegar até nós.

Stephen Hawking, Malcon Perry, Sasha Haco e Andrew Strominger são cientistas que realizaram um estudo, o qual foi publicado um pouco depois da morte de Hawking, discutindo a hipótese de que buracos negros podem *ter cabelo*<sup>105</sup>. Essa história de *cabelos* em buracos negros é uma expressão (engraçada) referente à metáfora utilizada para descrever o conceito oposto, o da *calvície* em buracos negros. Se referem assim para designar que, como buracos negros não conservam muitas informações sobre a matéria que cai neles, somente massa, carga elétrica e momento angular, todos seriam *muito parecidos*, como pessoas carecas! O artigo mencionado desenvolve um trabalho, mostrando como, talvez, outras informações pudessem ser obtidas da matéria que cruza o horizonte de eventos, ou seja, os buracos negros não seriam tão iguais assim, possuindo *cabelo*! Basicamente, partem da ideia que a matéria, quando cai em um buraco negro, afetaria a sua temperatura, a qual seria possível medir ao redor do horizonte de eventos, utilizando a radiação Hawking. Assim, a informação do que caiu estaria, em certo grau, armazenada ao redor do buraco negro e possível de ser acessada por observadores externos. São estudos sem nenhuma comprovação observacional e ainda serão desenvolvidos em maior grau.

### **A primeira imagem de um buraco negro**

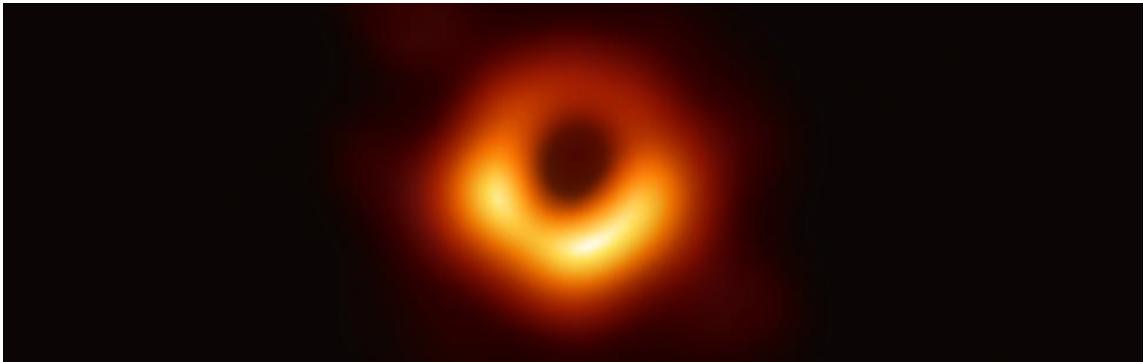
Em uma quarta feira (10) do mês de abril, no ano de 2019, foi publicada a primeira imagem de um buraco negro. Até então, o que se sabia graficamente deles provinha de simulações computacionais realizadas a partir dos modelos matemáticos e físicos, mas a sua *face* real nunca havia sido conhecida. O projeto era coordenado pelo *Event Horizon Telescope* (Telescópio de Horizonte de Eventos), que consiste numa série de radiotelescópios espalhados por todo globo terrestre, os quais captaram os sinais vindos de um buraco negro e processaram a sua imagem. Esse buraco negro está localizado no centro da galáxia M87, e se trata de um corpo supermassivo. Seu diâmetro é de 40 bilhões de quilômetros e está afastado 50 milhões de anos-luz do nosso planeta.

Foram dois anos captando os sinais, filtrando as interferências e combinando os *seus pedaços*, para que a imagem fosse processada. Isso, porque cada radiotelescópio<sup>106</sup> espalhado pelo

<sup>105</sup> Acessar [https://brasil.elpais.com/brasil/2018/10/11/ciencia/1539279267\\_381059.html](https://brasil.elpais.com/brasil/2018/10/11/ciencia/1539279267_381059.html)

<sup>106</sup> Telescópio que opera recebendo luz na frequência de rádio, e não na frequência visível como estamos acostumados a ver na maioria dos telescópios que funcionam assim.

planeta recebia uma parte do todo que compunha o sinal vindo do buraco negro. O desafio se assemelha muito a como se você e um grupo de amigos fossem montar um quebra-cabeça de 100.000 peças, por exemplo (esse número não é o de sinais do projeto, apenas uma exemplificação de um número alto). Cada integrante do grupo possui um certo número de peças sortidas do quebra-cabeça e mais algumas que não correspondem a ele, apenas peças erradas para confundir ainda mais. Para montá-lo, vocês precisam se reunir, encontrar as peças que não fazem parte, removê-las e também começar a encaixar as peças corretas. Que desafio<sup>107</sup>!

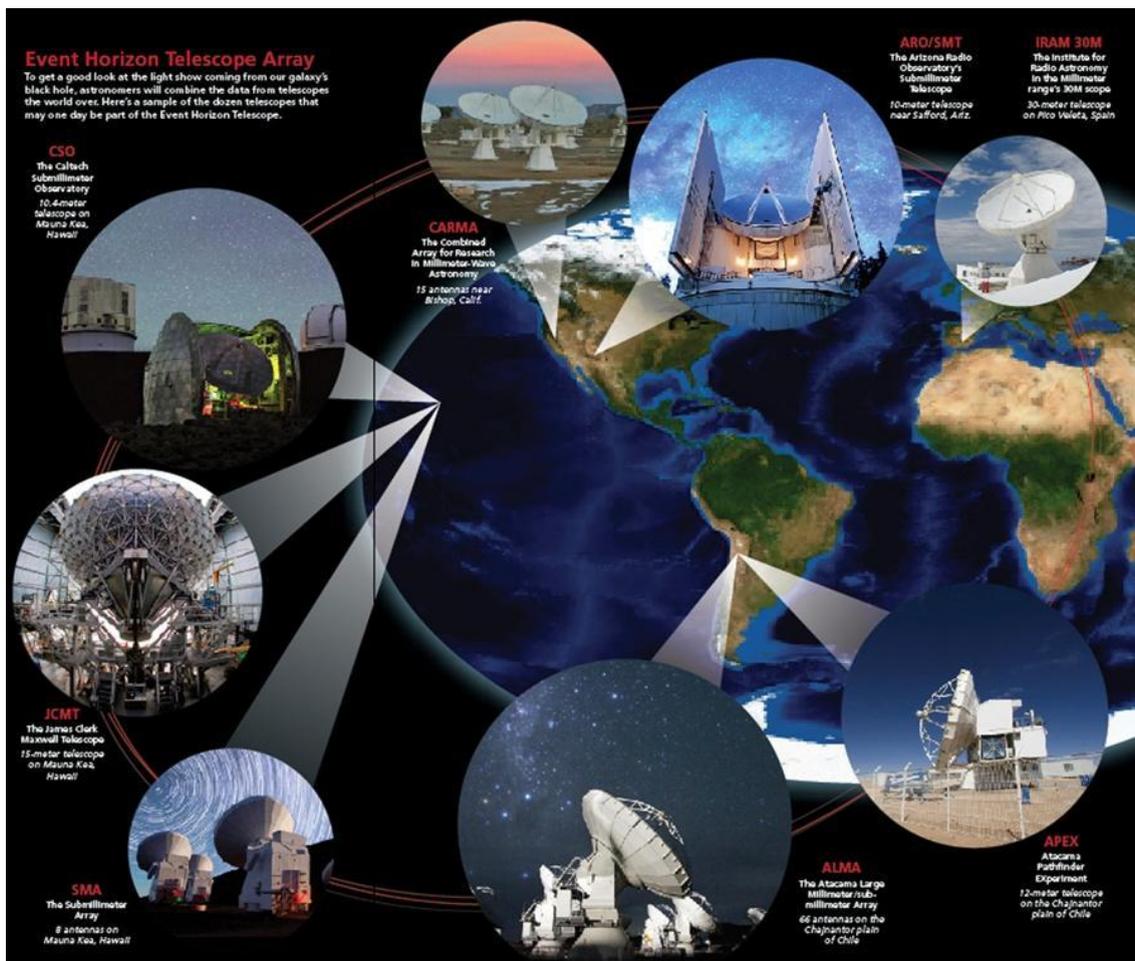


A primeira imagem de um buraco negro. Ela é compatível com as imagens obtidas através das simulações dos modelos matemáticos e físicos obtidos para eles. Pode-se notar a região escura, de onde nem a luz escapa, o disco de acreção, ao redor, em forma de halo, que está escorrendo para dentro do buraco negro. É possível ver o limite do horizonte de eventos e a luz desviada para o vermelho.

(Fonte: Event Horizon Telescope: [https://eventhorizontelescope.org/files/eht/files/20190410-78m\\_4000x2330.png?m=1554877782](https://eventhorizontelescope.org/files/eht/files/20190410-78m_4000x2330.png?m=1554877782))

---

<sup>107</sup> Um pouco do processo de como os dados foram filtrados e organizados pode ser lido aqui <https://www.bbc.com/portuguese/geral-47886045>



Montagem fotográfica publicada na página da revista de astronomia *Astronomy Magazine*, no dia 10 de abril de 2019. Ela mostra os radiotelescópios envolvidos no trabalho, seus nomes e localização no globo terrestre. (Fonte: Astronomy Magazine - <https://astronomy.com/news/2019/04/event-horizon-telescope-releases-first-ever-black-hole-image>)

Com os dados do telescópio espacial Hubble, lançado em 1990, foi possível avançar os conhecimentos sobre o universo em geral, incluindo os buracos negros. Com as observações feitas a partir do Hubble, indiretamente, foi possível aprender mais sobre eles<sup>108</sup>. Por exemplo, eles são estruturas muito comuns nas galáxias. É muito comum encontrá-los em seus centros. No centro da nossa própria Via Láctea existe um objeto supermassivo, o qual acredita-se ser um buraco negro (Sagitarius A\*). A massa desses buracos negros é proporcional ao tamanho da galáxia em que está, assim, quanto maior a galáxia maior o buraco negro. Outro fenômeno que também acontece com eles é a fusão. Quando galáxias se fundem, os buracos negros também podem se fundir, formando um maior. Em 2018, alguns cientistas da Nasa, trabalhando com dados provenientes do Hubble, captaram os dados de duas galáxias com buracos negros em seus centros, se fundindo<sup>109</sup>. Os dados revelaram que, a medida que isso acontecia, a massa dos buracos negros ia aumentando rapidamente. Com dados prévios de

<sup>108</sup> Página da Nasa com informações - <https://nasa.tumblr.com/post/187921705234/hubbles-5-weirdest-black-hole-discoveries>

<sup>109</sup> Reportagem original <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2018/astronomers-unveil-growing-black-holes-in-colliding-galaxies>

simulações computacionais, eles concluíram que esse era o cenário exato de quando buracos negros estão prestes a se fundir.

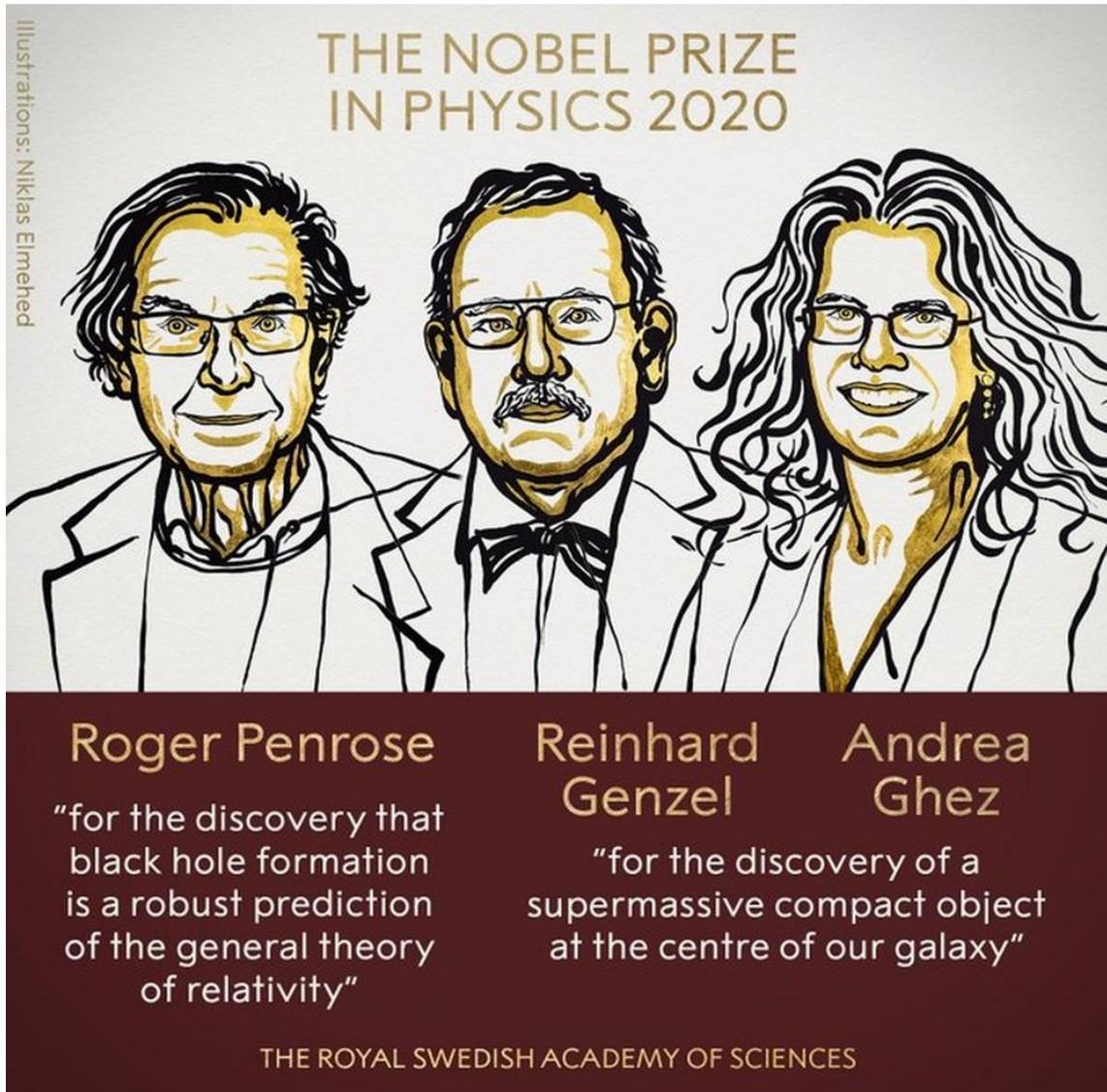
Aprender sobre os buracos negros e sua dinâmica é uma atividade intrigante, até mesmo para quem se dedica profissionalmente a isso. Muito ainda precisa ser avançado para que nosso campo de conhecimento seja mais sólido. A detecção da primeira imagem direta de um buraco negro em 2019 nos mostra como esse assunto é relativamente novo na jornada dos seres humanos rumo ao cosmo.

### **Prêmio Nobel de 2020**

Para se ter uma ideia do quão atual é o assunto sobre buracos negros, quando este livro já estava finalizado, saiu o resultado dos ganhadores do prêmio Nobel de Física de 2020 (6 de outubro de 2020). Assim, foi necessário atualizá-lo, através deste capítulo, pois, os ganhadores foram três cientistas que desenvolveram trabalhos com essas estruturas. Roger Penrose (colaborador direto de Stephen Hawking), Andrea Ghez e Reinhard Genzel foram escolhidos por suas colaborações significativas com o entendimento sobre os buracos negros. Roger Penrose demonstrou matematicamente como a Teoria Geral da Relatividade leva à formação de buracos negros. Já Andrea Ghez (a quarta mulher da história a ganhar um prêmio Nobel) e Reinhard Genzel descobriram a existência de um objeto supermassivo no centro de nossa galáxia, para o qual a explicação mais plausível é de que seja um buraco negro supermassivo.

**"Estou animada em receber o prêmio – levo muito a sério a responsabilidade de ser a quarta mulher a ganhar o prêmio Nobel [em física]. Espero poder inspirar outras jovens mulheres para uma área que tem tantos prazeres, se você tem paixão pela ciência. Há muito para ser feito."**

*Declaração de Andrea Ghez, logo após o anúncio dos vencedores.*



Fonte: Tweeter/Nobel

**Para conhecer mais:**

**Interestelar – filme de Christopher Nolan, de 2014.**

**Perguntas de fixação**

- a) Calcule qual seria o diâmetro de um buraco negro gerado a partir de você, caso toda sua massa fosse comprimida em um único ponto.

*Aplicação direta da fórmula de Schwarzschild  $r = 2GM/c^2$ , utilizando a massa  $M$  como a massa do corpo em questão. O raio resultante deve ser multiplicado por 2 para se ter o valor do diâmetro do buraco negro originado pela massa de uma pessoa, caso ela fosse comprimida até aquele valor.*

- b) Uma fórmula utilizada para calcular a velocidade de escape<sup>110</sup>  $v$  de corpos esféricos de massa  $M$  e raio  $r$  como, por exemplo, a Terra è:

<sup>110</sup> Essa velocidade representa o valor mínimo que um corpo, sem propulsão, deve atingir para vencer o campo

$$v = \sqrt{2GM/r}$$

Utilize essa relação para encontrar a fórmula do raio de Schwarzschild, tal como apresentamos nesse capítulo. Explique passo a passo seu raciocínio.

*O processo bem simples. Basta substituir  $v$  por  $c$ , pois, considerando o enorme campo gravitacional do buraco negro, supomos **maior velocidade** de matéria/informação que conhecemos ( $c$  – velocidade da luz. Daí, basta elevarmos  $c$  ao quadrado e colocar tudo em função de  $r$ , obtendo:*

$$r = 2GM/c^2$$

## Capítulo 9

### Matéria escura

*“Neste capítulo final, os alunos serão apresentados ao assunto da matéria escura e ao modelo padrão cosmológico. É imprescindível que se atente para como, nesse caso, a partir da observação, surgem as hipóteses e depois como elas são testadas. O tópico sobre Modelo Padrão é uma pequena amostra do processo de teoria sendo validada a partir dos testes”*

#### Introdução

---

gravitacional de, por exemplo, um planeta. A velocidade de escape do planeta Terra é, aproximadamente, 11km/s.

Além dos buracos negros, a chamada “matéria escura” representa outro dos fenômenos mais intrigantes do Universo. Como conhecer algo que, simplesmente, não interage conosco? Pelo menos, até onde se sabe, hoje, a matéria escura não interage significativamente com a matéria comum, a não ser gravitacionalmente (e provém desse tipo de interação gravitacional os indícios mais fortes da sua existência). Até consigo mesma, a matéria escura não possui interações significativas. Se formos mais profundos em nossa abordagem, chega a ser estranho chamar tal *coisa* de matéria! Como brinca o astrofísico e divulgador científico, Neil deGrasse Tyson, em uma das suas palestras sobre o assunto “Nós poderíamos chamá-la de Fred!”, se referindo ao fato de que nem mesmo sabemos o que ela é<sup>111</sup> e qual a sua natureza. Quando pensamos que mais de 80% da gravidade exibida em nosso Universo não pode ser explicada pela quantidade de matéria visível<sup>112</sup>, o assunto “matéria escura” ganha contornos imprescindíveis na nossa busca de conhecimento em Cosmologia.

### Breve histórico

Embora o trabalho do astrônomo alemão Fritz Zwicky, de 1933, muitas vezes, seja apontado como o primeiro a propor a existência de matéria escura, outros cientistas anteriores a ele já discutiam a ideia de “matéria que não podia ser observada”<sup>113</sup>. É de Lord Kelvin, um físico importante na história da ciência, um dos primeiros relatos referindo-se ao fato de que a massa do grupo de estrelas, as quais ele observava, orbitando o centro da galáxia, não condizia com o valor estimado com base nas suas velocidades de afastamento apresentadas<sup>114</sup>. Ele conclui o estudo, levantando a hipótese de que esse efeito se daria por conta de estrelas que não estavam sendo vistas, pois seriam “corpos escuros”. Henri Poincaré, outro nome muito importante da ciência, cujo trabalho foi dedicado, principalmente, à física, matemática e filosofia da ciência, também falou sobre a hipótese de Kelvin, em 1906, se referindo a ela como “matéria negra” (no original, em francês, *matière obscure*). Nas décadas posteriores, os astrônomos Jacobus Kapteyn e Jaan Ortz também falaram sobre a hipótese de matéria escura, ao estudarem as discrepâncias observadas nos valores de massa e velocidade de estrelas na galáxia. Porém, o trabalho mais conhecido foi proposto, em 1933, pelo astrônomo alemão Fritz Zwicky. Estudando a dinâmica do movimento de algumas galáxias em aglomerados e utilizando a física newtoniana, ele observou que a velocidade apresentada por essas galáxias não correspondia a estimativa de massa concebida quando se analisava a matéria visível nesse grupo<sup>115</sup>. Em outras palavras, o resultado para a massa total do sistema, calculado a partir das velocidades observadas das galáxias, era muito superior ao cálculo de massa feito através da observação direta da matéria visível do mesmo. Zwicky, então, propõe que algum tipo de

<sup>111</sup> O vídeo com legendas do trecho da palestra pode ser visto aqui:

<https://www.youtube.com/watch?v=xagO4gLEF28>

<sup>112</sup> Basicamente, os astrônomos não conseguem explicar a intensidade das interações gravitacionais somente com a matéria detectável, ficando grande parte dessa gravidade sem uma causa aparente.

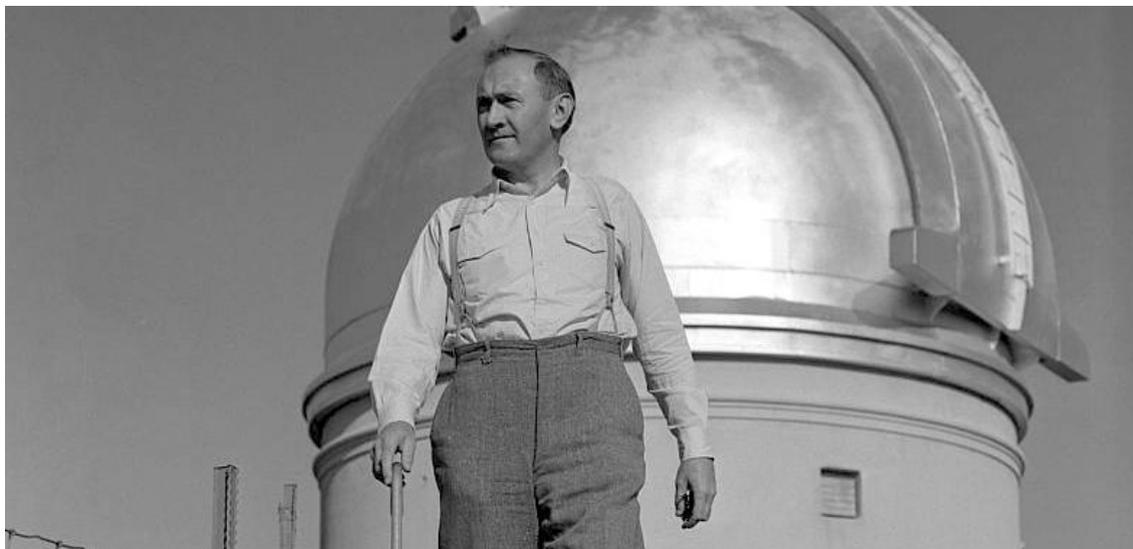
<sup>113</sup> Página do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech) com um pouco da história da matéria negra - <https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Sept16/Bertone/Bertone2.html>

<sup>114</sup> Kelvin, Lord (1904). *Baltimore Lectures on Molecular Dynamics and the Wave Theory of Light*. London, England: C.J. Clay and Sons. p. 274. – Disponível em :

<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=ien.35556038198842&view=1up&seq=304>

<sup>115</sup> Consultar - XIMENES, Samuel Jorge Carvalho. *A Matéria Escura*. 2016. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. – para ver os cálculos (p.34-35).

matéria escura (que ele chamou em alemão como *dunkle Materie*) estava presente ao redor desses aglomerados, e os estava afetando gravitacionalmente.



Fritz Zwicky em frente a um observatório. (Fonte: <https://lithub.com/the-humble-origins-of-the-man-who-discovered-dark-matter/>)

Os trabalhos de Kent Ford e Vera Rubin na década de 70 e início de 80 foram muito importantes para os estudos sobre a matéria escura. Basicamente, através da observação do movimento de galáxias espirais individuais, ficou comprovado que a velocidade de rotação delas também era maior do que se esperava, de acordo com as massas medidas. Hoje, esse estudo é considerado como um forte indício da existência da, ainda não detectada diretamente, matéria escura. Poucos anos depois da publicação de Rubin, uma teoria alternativa à matéria escura foi também publicada, tentando explicar essas discrepâncias entre velocidades e quantidade de matéria observada, em galáxias e aglomerados. Mordhai Milgrom, físico israelense, publicou em 1983 uma teoria onde, ao invés de se sugerir a existência de mais matéria não detectável (matéria escura), para que os dados correspondessem a teoria, propôs alterar a própria teoria gravitacional. A dinâmica modificada newtoniana (sigla em inglês *MOND – Modified Newtonian Dynamics*) previa que, para pequenas velocidades (tais como as das galáxias nos estudos), as equações deveriam ser modificadas<sup>116</sup>. Basicamente, a segunda lei de Newton passaria a ser um caso mais específico de outra lei mais abrangente<sup>117</sup>:

$$F = m \cdot a \cdot \mu(a/a_1)$$

Onde, “m” e “a” são a massa e aceleração do corpo, respectivamente, e “a<sub>1</sub>” seria uma nova constante de aceleração, de valor igual a 10<sup>-10</sup>m/s<sup>2</sup>. O termo adicionado  $\mu(a/a_1)$  é uma função que pode ser escrita de várias formas, entretanto, a maneira exata de escrevê-la não influi diretamente nas implicações da MOND<sup>118</sup>. O fato essencial é entender que quando a razão a/a<sub>1</sub> for muito maior do que 1, ou seja, a >> a<sub>1</sub>, a equação original de Newton é válida, e  $\mu(a/a_1) = 1$ . Já quando a razão a/a<sub>1</sub> for muito menor do que 1, ou seja, quando a << a<sub>1</sub>, o

<sup>116</sup> Pode ser encontrado, com mais detalhes, aqui - XIMENES, Samuel Jorge Carvalho. A Matéria Escura. 2016. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. – para ver os cálculos (p.30-33)

<sup>117</sup> VELTEN, H. E. S. MOND: uma alternativa à mecânica newtoniana. Revista brasileira de ensino de Física, v. 30, n. 3, p. 3314.1-3314.5, 2008.

<sup>118</sup> Idem nota anterior (7).

termo assumirá o valor do cálculo dessa razão, podendo ser escrito, de forma simplificada como:

$$\mu = \frac{a}{a_1}$$

Resultando em

$$F = m \frac{a^2}{a_1}$$

Note que  $a_1$  tem um valor muito reduzido, de forma que situações em nosso cotidiano em que  $a \ll a_1$  praticamente não existem. No entanto, em se tratando da aceleração de galáxias e aglomerados de galáxias, os valores são tão baixos quanto  $a_1$ , sendo esse um caso onde os defensores dessa teoria consideram que ela funcione se a necessidade da hipótese da matéria escura. A MOND não explica muito bem alguns outros fatores relacionados ao comportamento de aglomerados de galáxias e também o efeito das lentes gravitacionais, que veremos mais adiante, ainda neste capítulo. Em 2018, um estudo com a participação de dois pesquisadores brasileiros, publicado na revista “*Nature Astrophysics*”, disse ter descartado, com alta margem de confiabilidade, a hipótese da MOND, depois da análise de 193 galáxias em busca do fator  $a_1$ <sup>119</sup>. Porém, essa ainda é uma questão ainda estudada e requer mais esclarecimentos.



Vera Rubin, uma cientista que enfrentou muitas dificuldades pelos preconceitos da sua época. (Fonte: <http://mulheresnaciencia-mc.blogspot.com/2013/02/vera-rubin.html>)

### Um pouco de matemática para o problema das velocidades nos aglomerados de galáxias

Consideramos um corpo de massa  $m$ , em órbita circular, ao redor de uma massa  $M$  (como uma galáxia em um aglomerado orbitando um centro massivo), de modo que  $M$  é significativamente maior do que  $m$  ( $M \gg m$ ) e  $r$  é a distância entre eles. O termo  $v$  é a velocidade de rotação de  $m$  ao redor de  $M$ . Aplicando a 2ª Lei de Newton:

$$m \cdot \frac{v^2}{r} = G \cdot m \cdot M / r^2$$

<sup>119</sup> Reportagem da Revista Brasileira do Ensino de Física sobre a pesquisa: <http://www.sbfisica.org.br/v1/home/index.php/pt/destaque-em-fisica/726>

A energia cinética  $E_c$  e potencial  $E_p$  são:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot a$$

e

$$E_p = -GmM/r$$

Fritz Zwicky fez uso do teorema virial para analisar a questão das velocidades das galáxias em aglomerados<sup>120</sup>. Iremos fazer uma dedução aproximada e mais simplificada (procure entender o conceito). O teorema virial nos diz que em um sistema de N partículas, interagindo gravitacionalmente, se não houver variações significativas na média da energia cinética  $\langle E_c \rangle$  e potencial  $\langle E_p \rangle$  do sistema, é válida a seguinte relação<sup>121122</sup>:

$$2 \langle E_c \rangle = -\langle E_p \rangle$$

Na aplicação do aglomerado de galáxias, vamos utilizar como média o somatório das energias cinética e potencial das partículas:

$$\langle E_c \rangle = \sum E_c \sim \frac{1}{2} M_t V$$

$$\langle E_p \rangle = \sum E_p \sim M_t^2 G/2R$$

O fator 2 no denominador da energia potencial é devido a existência de  $N^2/2$  pares de partículas no aglomerado.  $V$  é o valor resultante da soma das velocidades. Aplicando o teorema virial e deixando expresso em função da massa total do sistema  $M_t$ :

$$M_t = \frac{2RV^2}{G}$$

Aqui temos um resultado interessante para a aplicação. A massa total do aglomerado está expressa em função também da velocidade  $V$ . Ou seja, a partir dos valores medidos e somados das velocidades seria possível encontrar o valor da massa total do sistema. Não haveria discrepâncias se não existisse outra maneira confiável para também calcular a mesma massa. Porém, a partir do brilho de uma galáxia é possível calcular a sua massa total<sup>123</sup>. Uma galáxia comum emite um valor de brilho por unidade de massa proporcional a 0,3 o brilho por unidade de massa do Sol. Como sabemos a massa do Sol, conhecendo o brilho de uma galáxia conseguimos estipular a sua massa.

Os valores encontrados por Zwicky para a massa, aplicando o teorema virial, eram significativamente superior aos esperados, de acordo com o brilho emitido pelo aglomerado.

<sup>120</sup> Trabalho original pode ser acessado aqui -

<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1937ApJ....86..217Z/abstract>

<sup>121</sup> Pode ser visto aqui - <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/virial.htm>

<sup>122</sup> Teorema com mais detalhes nessa referência - L. D. Landau, E. M. Lifshitz, Mechanics, cap. 10, 3a edição, Butterworth-Heinemann (1976)

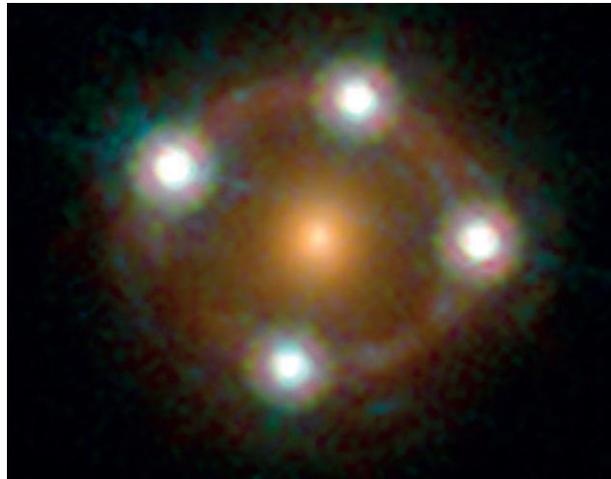
<sup>123</sup> Consultar - B. Ryden, Introduction to Cosmology, p.127, Addison-Wesley (2003).

A massa da “matéria luminosa”<sup>124</sup> era muito inferior ao valor encontrado para a massa total do aglomerado. Os caminhos que levam a hipótese para matéria escura nasceram daí <sup>125</sup>.

## Lentes Gravitacionais

Outro fato indireto considerado como um forte indício da existência de matéria escura é o efeito das lentes gravitacionais. Esse efeito tem a ver com o mesmo fenômeno que estudamos no capítulo sobre a Teoria Geral da Relatividade em relação aos feixes de luz provenientes de estrelas serem curvados, ao passarem perto Sol (a curvatura do espaço-tempo, causada pela massa solar, desvia a trajetória dos raios luminosos vindo das estrelas, causando uma aparente diferença nas suas posições). Quando a fonte que está emitindo a luz e o observador estão bem alinhados, e os raios de luz que chegam para o observador sofrem algum desvio gravitacional no caminho, causado por um corpo massivo, o observador terá a impressão de que está enxergando *várias fontes luminosas*, quando, na verdade, só existe uma. Esse efeito é o das *lentes gravitacionais* (o nome

lente é devido ao fato de que elas amplificam as imagens).



No centro da imagem, uma galáxia e, ao seu redor, quatro corpos luminosos. Na verdade, esses quatro corpos são somente um, e ele está num plano *atrás* da galáxia. A lente gravitacional causada pela massa da galáxia (centro) desvia a luz do quasar (disco de acreção energizado e emitindo luz) e cria essa ilusão de ótica. (Fonte: CERN Courier – disponível em <https://cerncourier.com/a/gravitational-lens-challenges-cosmic-expansion/>)

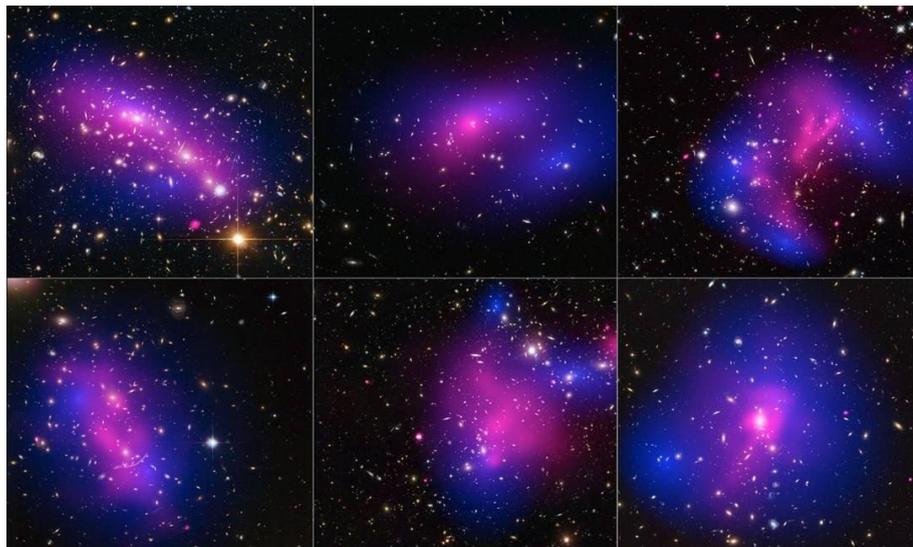
E, o que as lentes gravitacionais têm a ver com a matéria escura? Bem, através desse efeito também é possível modelar como é a distribuição de massa do corpo que o produz e, no caso das lentes gravitacionais causadas por galáxias, essa distribuição de matéria mostrou que maior parte dela não era composta por matéria luminosa (estrelas, gases entre outros) mas de matéria escura, a qual não emite qualquer tipo de radiação eletromagnética<sup>126</sup>.

<sup>124</sup> Não significa matéria que emite luz própria, mas é um termo usado para designar qualquer matéria que emita ou reflita luz. Matéria detectável.

<sup>125</sup> Utilizamos uma maneira bem aproximada para demonstrar como, teoricamente, se dão as discrepâncias entre os valores de massa total de um aglomerado calculados por dois métodos diferentes. Para detalhes, consultar o trabalho original de Fritz Zwicky já mencionado em nossas notas de rodapé.

<sup>126</sup> Acessar <https://hubblesite.org/contents/articles/gravitational-lensing>

A figura abaixo mostra um mapeamento de matéria escura (azul) e de matéria não-escura (rosa), em seis colisões diferentes entre galáxias. Os pesquisadores utilizaram essas imagens captadas pelos telescópios Hubble e Chandra para analisar o comportamento da matéria escura<sup>127</sup>.



Imagens das seis colisões diferentes e os mapeamentos de matérias. (Fonte: Chandra Observatory)

Eles concluíram que ela, além de não interagir com a matéria luminosa, também quase não interagiu consigo mesma. Por exemplo, observaram que uma porção de matéria escura, quando estava em colisão com outra porção também de matéria escura, não sofreu nenhuma desaceleração, revelando que, a princípio, elas não interagiram fisicamente como seria esperado no choque entre matéria. Esses fatos conferem ainda mais perplexidade e mistério ao assunto da matéria escura.

### O que se sabe sobre a matéria escura?

Não existem evidências diretas da sua existência. O fenômeno das lentes gravitacionais e das velocidades em aglomerados de galáxias e galáxias individuais são os indícios mais fortes que indicam que *existe algo a mais* do que só a matéria que podemos detectar, interagindo apenas gravitacionalmente com ela. Lembrando Tyson, não sabemos nem se esse *algo a mais* pode ser considerado matéria. Pelas observações das colisões entre galáxias, existem também fortes indícios de que a matéria escura quase não interage consigo mesma. Sobre a sua natureza e do que é constituída existem apenas teorias que tentam explicá-la, mas ainda sem evidências observacionais (teorias modificadas da gravidade também podem ser hipóteses viáveis como alternativa à matéria escura). Enfim, esses estudos são um campo recente da cosmologia, os quais necessitam de mais desenvolvimento e pesquisas. A cada dia, surgem novas informações e trabalhos e, dessa forma, o campo do conhecimento vai avançando.

### Modelo Cosmológico Padrão ou Modelo *Λ*CDM

<sup>127</sup> Acessar [https://chandra.harvard.edu/press/15\\_releases/press\\_032615.html](https://chandra.harvard.edu/press/15_releases/press_032615.html)

Esse modelo é o que melhor explica o Universo, de acordo com as evidências observacionais da Cosmologia<sup>128,129</sup>. Um dos últimos resultados sobre as observações do espaço, para os estudos cosmológicos que temos, foram coletados pelo satélite Planck e publicados no ano de 2015<sup>130</sup>. A pesquisa conclui que o Modelo Cosmológico Padrão fornece uma excelente descrição dos dados coletados pelo satélite e, se existisse alguma física que esteja além desse modelo, o satélite não pôde detectá-la (ver página 59 do artigo original).



Satélite Planck. (Fonte: Agência Espacial Europeia - [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2007/01/Planck\\_spinning\\_in\\_space](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2007/01/Planck_spinning_in_space))

Em relação ao nome Modelo  $\Lambda$ CDM, o termo  $\Lambda$  (lambda) se refere ao que chamamos de energia escura. Essa energia é considerada como sendo a maior componente do Universo, e seria ela a responsável pela sua expansão estar acelerando, conforme o tempo passa. Conforme vimos no capítulo sobre a expansão do Universo, atualmente, ela está ocorrendo de maneira acelerada e, para que isso aconteça, é necessário que algum tipo de energia com pressão negativa vença a atração gravitacional, gerada pelas massas distribuídas no universo. Do contrário, seria de se esperar que a expansão fosse desacelerando, porém, não é isso que as evidências observacionais mostram. Os dados revelam que o Universo é composto por, aproximadamente, 70% dessa energia escura, mas não sabemos ao certo nem sua origem e nem sua natureza. Já o termo CDM é uma sigla para, em inglês, “Cold Dark Matter” ou “Matéria Escura Fria”. O nome é devido que existem outras duas teorias alternativas, a matéria escura morna e matéria escura quente, sendo que a teoria da matéria escura fria é a que melhor estima as quase inexistentes interações desse tipo de matéria e as possíveis partículas que a formaria. De acordo com as observações, aproximadamente, 25% do Universo é composto por ela. Apenas 5% é composto por matéria comum, a mesma que forma você, seu livro, o Sol, os oceanos, animais etc<sup>131</sup>.

O Modelo  $\Lambda$ CDM também sustenta a Teoria Inflacionária do Big Bang tal como vimos no capítulo sobre a origem do Universo. A detecção da abundância de hidrogênio (deutério), hélio e as quantidades menores dos demais elementos reforçam a teoria da nucleossíntese primordial. A radiação cósmica de fundo é outra evidência muito forte em favor do modelo. A

<sup>128</sup> Recomenda-se a leitura de - SILVA NETO, Gival Pordeus da. Estimando parâmetros cosmológicos a partir de dados observacionais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 2, 2018.

<sup>129</sup> Recomenda-se a leitura de - ROSENFELD, Rogério. A cosmologia. *Física na Escola*, v. 6, n. 1, p. 31-37, 2005.

<sup>130</sup> Artigo original - ADE, Peter AR et al. Planck 2015 results-xiii. cosmological parameters. *Astronomy & Astrophysics*, v. 594, p. A13, 2016.

<sup>131</sup> Sugestão de leitura: <https://astropontos.org/2019/10/28/o-premio-nobel-pelos-fundamentos-da-cosmologia/>

partir dela, a idade do Universo é calculada como sendo, aproximadamente, 13,7 bilhões de anos. A expansão acelerada também é sustentada observacionalmente, sendo a constante de Hubble (taxa de expansão) de, aproximadamente, 71 Km/s.

Em relação à forma do Universo, a observação da radiação cósmica de fundo leva à predição de que, em larga escala, o Universo é plano. Isso quer dizer que, dois raios de luz viajando paralelamente um ao outro nunca irão se cruzar. Você pode estar se perguntando sobre o que aprendeu em Teoria Geral da Relatividade, sobre o espaço-tempo curvado pela presença de matéria. Está correto, e, em análises de escalas menores, essas curvaturas prevalecem. Quando aumentamos a escala, aí sim observamos que o Universo é plano.

Dessa forma, termina aqui nossa “microscópica” introdução à Cosmologia Moderna. Existem muito mais conhecimento aprofundado esperando por você! No entanto, o que apresentamos aqui pode ser usado como base para que os estudos prossigam! Esperamos que depois da experiência com esse material, você tenha adquirido alguns conhecimentos e ideias que o auxiliem a questionar, pesquisar e argumentar sobre o Universo em que vive. Existe muito, mas muito ainda a ser estudado e explorado, de forma que continuar nessa jornada é imprescindível, seja profissionalmente, aos que quiserem seguir por esse caminho, ou mesmo nas horas vagas e recreativas – querer desvendar o Universo é essencial à nossa vida! Boa viagem!

*“O Cosmos é tudo o que existe, existiu ou existirá. Nossa contemplação do Cosmos nos comove – provoca calafrios, nos deixa sem voz, causa uma sensação de vertigem, como uma memória remota de estarmos caindo de uma grande altura. Sabemos que estamos nos aproximando do maior de todos os mistérios”*

Carl Sagan — No episódio “As Margens do Oceano Cósmico”, primeiro da série Cosmos: A Personal Voyage, em 1980.

#### **Para conhecer mais**

- *O que é Cosmologia?* – Livro de Mario Novello, cosmólogo brasileiro.
- *O Universo numa casca de noz* – Livro de Stephen Hawking.

#### **Perguntas de fixação**

- a) **Descreva o que é a matéria escura? Podemos afirmar a sua existência? Justifique.**

*“A matéria escura é uma hipótese que explica a discrepância das velocidades, nas periferias de aglomerados de galáxias e galáxias unitárias. Como a teoria newtoniana prevê que, nesses casos, a velocidade dos corpos, ao redor da galáxia ou do aglomerado, é proporcional à massa dos mesmos, era de se esperar que isso se comprovasse na prática, quando se*

*observasse essas estruturas. No entanto, como vimos no capítulo, existe uma grande discrepância entre a quantidade de matéria visível (massa) e a velocidade apresentada pelos corpos nas periferias dessas estruturas. Como a velocidade deles é muito maior do que o esperado, uma hipótese é a de que exista mais matéria naquela estrutura do que podemos ver – seria ela a matéria escura. Diretamente, sua existência não foi comprovada com observações. Existem alguns indícios, como as lentes gravitacionais que sustentam a hipótese, porém não a evidenciam.*