

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA

ELBERTH MANFRON SCHIEFER

**PROPOSTA DE INSERÇÃO DE COSMOLOGIA NO ENSINO MÉDIO
TÉCNICO POR INTERMÉDIO DE UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-
FILOSÓFICA APOIADA SOBRE OS PRESSUPOSTOS DE GASTÓN
BACHELARD**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2016

ELBERTH MANFRON SCHIEFER

**PROPOSTA DE INSERÇÃO DE COSMOLOGIA NO ENSINO MÉDIO
TÉCNICO POR INTERMÉDIO DE UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-
FILOSÓFICA APOIADA SOBRE OS PRESSUPOSTOS DE GASTÓN
BACHELARD**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Licenciatura em Física do Departamento Acadêmico de Física – DAFIS - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a aprovação da disciplina.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Florczak

Coorientador: Prof. Dr. Marlos de Oliveira Ribas

CURITIBA

2016



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS CURITIBA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA - DAFIS

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Título: Proposta de Inserção de Cosmologia no Ensino Médio Técnico por Intermédio de uma Abordagem Histórico-Filosófica Apoiada sobre os Pressupostos de Gastón Bachelard

Autor: Elberth Manfron Schiefer

Orientador: Marcos Antônio Florczak

Coorientador: Marlos de Oliveira Ribas

Este trabalho foi apresentado às 10:00 horas, do dia 27 / 10 / 2016 , como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC2), do curso de Licenciatura em Física, do Departamento Acadêmico de Física (DAFIS), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Curitiba. A comissão examinadora considerou o trabalho aprovado.

Comissão examinadora:

Prof. Dr. Marcos Antônio Florczak

Prof. Dr. Marlos de Oliveira Ribas

Prof.^a Dr.^a Luciana Rocha Hirsch

Prof. Me. Cristóvão Renato Morais Rincoski

Professor Responsável pelas Atividades de
Trabalho de Conclusão de Curso/
Curso de Licenciatura em Física
(DAFIS/UTFPR)

As assinaturas estão presentes no Departamento Acadêmico de Física (DAFIS) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Dedico este trabalho a todos aqueles que,
de uma maneira ou outra, me auxiliaram
durante minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao meu orientador Professor Doutor Marcos Antônio Florczak e ao meu coorientador Professor Doutor Marlos de Oliveira Ribas pelas orientações que visaram o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Doutor Marlos de Oliveira Ribas, pelo desenvolvimento do Projeto de Iniciação Científica na área de Cosmologia, que me permitiu vislumbrar a beleza do nosso Universo e transmitir esta visão por intermédio do ensino.

À Professora Doutora Noemi Sutil, que ofereceu todo o embasamento teórico necessário para uma pesquisa na área do Ensino em Física.

À Professora Doutora Marcia Muller, ao Professor Doutor José Luis Fabris e ao aluno de Doutorado Lucas Hermann Negri, pela inserção no mundo da pesquisa.

À todos os Professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que me ofereceram todo o conhecimento e dedicação para minha formação.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que permitiu minha atuação em sala de aula durante os Estágios Curriculares Obrigatórios II e III.

Ao Professor Mestre Cristóvão Renato Moraes Rincoski, que me ofereceu total liberdade em suas aulas durante meus estágios, assim como aos alunos do Ensino Médio Técnico da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que me motivaram e me testaram com o intuito de aprimorar minha regência.

À Professora Doutora Angela Emília de Almeida Pinto, assim como aos meus colegas Joelson Otávio Paes e Thais Andrade, pelo desenvolvimento do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência, que foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

À Doutora Flora Mitie Watanabe e sua maravilhosa equipe que, em associação à minha família, me curaram de uma doença fatal.

À todos os integrantes das minhas famílias Manfron e Schiefer que me ofereceram auxílio quando precisei.

Por fim, mas não menos importante, agradeço todos os colegas da graduação que fizeram parte destes últimos quatro anos da minha vida, assim como agradeço imensamente ao meu pai Eduard Schiefer, à minha namorada Andressa Flores Santos e aos seus pais, por todo o apoio cedido.

RESUMO

SCHIEFER, Elberth M. Proposta de inserção de Cosmologia no Ensino Médio Técnico por intermédio de uma abordagem Histórico-Filosófica apoiada sobre os pressupostos de Gastón Bachelard. 2016. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Departamento Acadêmico de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

Este trabalho objetiva desenvolver uma sequência de dois planos de aula aplicados no último ano do Ensino Médio Técnico da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba. Estes dois planos de aula abordam tópicos de Cosmologia, tratando principalmente dos limites e contextos da Mecânica Clássica e Relatividade, das geometrias, teorias e aplicações envolvidas neste ramo da ciência. O respectivo trabalho traz um estado da arte acerca do ensino de Cosmologia no Brasil, revelando uma falta de publicações na área, então é descrito um breve resumo sobre o tema. A análise é tomada de forma qualitativa, conforme a técnica de Análise de Conteúdo de Laurence Bardin, utilizando gravações em áudio e explicitando o decorrer da aula. Conclui-se que o desenvolvimento de aulas de tópicos de Cosmologia utilizando uma Abordagem Histórico-Filosófica baseada sob a Teoria dos Obstáculos Epistemológicos, estruturada de acordo com os Três Momentos Pedagógicos e analisada segundo a Análise de Conteúdo é viável. O respectivo desenvolvimento possibilitou a verificação de alguns indícios de obstáculos epistemológicos e da ruptura destes.

Palavras-chave: Cosmologia. Abordagem Histórico-Filosófica. Gastón Bachelard. Três Momentos Pedagógicos. Análise de Conteúdo.

ABSTRACT

SCHIEFER, Elberth M. A Cosmology insertion proposal in a Secondary Technical Education through the Historical-Philosophical approach supported by Gastón Bachelard assumptions. 2016. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Departamento Acadêmico de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

This work aims to develop a sequence of two lesson plans applied in the Secondary Technical Education of the Paraná's Federal University of Technology, Campus Curitiba. Those two lesson plans contain cosmological topics, focusing in the limits and backgrounds of Classical Mechanics and Relativity, of geometries, theories and applications. The present work exposes a State of Art on the Cosmology Teaching area in Brazil, showing a small amount of papers in this area, therefore, it is described a brief summary about this theme. The analysis is taken in a qualitative manner, according to the technical Analysis of Substance described by Laurence Bardin, using audio recordings and demonstrating the class development. It is concluded that classes about cosmological topics using a Historical-Philosophical Approach supported by Gastón Bachelard assumptions on the Epistemological Obstacles, structured on the Three Pedagogical Moments and analysed by the Analysis of Substance is viable. Such development allowed the verification of few signs of epistemological obstacles and their breakthrough.

Key words: Cosmology. Historical-Philosophical Approach. Gastón Bachelard. Three Pedagogical Moments. Analysis of Substance.

E eu digo que a vida, realmente, é
escuridão, a não ser que haja
necessidade,
E toda necessidade é cega, a não ser
que haja conhecimento.
E todo conhecimento é vão, a não ser
que haja trabalho,
E todo trabalho é vazio, a não ser que
haja amor;
E quando trabalhais com amor, vos
ligais a vós mesmos, e aos outros, e a
Deus.
(GIBRAN, Khalil, 2015)

LISTA DE SIGLAS

CBEF	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
DCN	Diretrizes Curriculares Nacionais
ENPEC	Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências
FMC	Física Moderna e Contemporânea
FnE	A Física na Escola
MRU	Movimento Retilíneo Uniforme
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+	Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+ - Física	Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Física
RG	Relatividade Geral
RR	Relatividade Restrita
SNEA	Simpósio Nacional de Ensino de Astronomia
SNEF	Simpósio Nacional de Ensino de Física
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
RCFM	Radiação Cósmica de Fundo de Micro-ondas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO DA PESQUISA	11
2 DOCUMENTOS OFICIAIS E A COSMOLOGIA	12
3 OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS E OS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS DE BACHELARD.....	14
4 ESTADO DA ARTE DO ENSINO DE COSMOLOGIA NO BRASIL.....	18
5 METODOLOGIA DE ELABORAÇÃO DO MATERIAL	21
6 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO MATERIAL	24
7 METODOLOGIA DE ANÁLISE DO MATERIAL	27
8 UMA BREVE REVISÃO DA COSMOLOGIA	29
8.1 A RELATIVIDADE RESTRITA	29
8.1.1 As transformações de Galileu e as equações de Maxwell.....	30
8.1.2 O espaço-tempo das transformações de Lorentz.	33
8.1.3 O paradoxo do carro na garagem.	35
8.2 A RELATIVIDADE GERAL.....	38
8.2.1 Solução de Schwarzschild	39
8.3 PRINCÍPIOS COSMOLÓGICOS.....	41
8.3.1 A paralaxe trigonométrica, espectros estelares e o Redshift	44
8.3.2 A homogeneidade, isotopia e a teoria do início do Universo	48
9 A APLICAÇÃO	52
9.1 APLICAÇÃO DA AULA NA TURMA 1.....	52
9.2 APLICAÇÃO DA AULA NA TURMA 2.....	56
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
REFERÊNCIAS	62
APÊNDICE A - Plano de aula 1.....	68
APÊNDICE B - Plano de aula 2.....	72
APÊNDICE C - Slides das aulas 1 e 2	76

1 INTRODUÇÃO

No mundo atual, iniciativas de alguns divulgadores da ciência proporcionam diversas possibilidades de desenvolvimento do conhecimento humano, tal como a aproximação da ciência à população em geral. Grandes cosmólogos como Carl Sagan, Stephen Hawking e Neil deGrasse Tyson possibilitam a divulgação aberta desta ciência por intermédio das mais diversas mídias contemporâneas. Um grande exemplo é a série Cosmos inicialmente gravada por Sagan e regravada por Tyson, que busca abranger as ciências de maneira mais qualitativa e ilustrada.

O processo de ensino-aprendizagem da Astronomia, Astrofísica, Cosmologia e Astronáutica requer alto grau de complexidade, pois engloba uma série de recursos matematicamente sofisticados. As pesquisas em Cosmologia utilizam Cálculo Tensorial, Teoria de Grupos, Termodinâmica, Mecânica Analítica, Física de Partículas, convenções, problemas de alto grau de complexidade, entre outros (RUBAKOV, 2015).

A grande questão da inserção da Cosmologia no Ensino Básico é como inseri-la de maneira mais eficiente e menos complexa. Desta maneira, é necessário procurar outras abordagens que não utilizem somente a linguagem físico-matemática, pois assim não há compreensão vasta dos conceitos por parte dos alunos (AGUIAR, 2010).

Uma das formas de desenvolver os tópicos de Cosmologia no Ensino Básico é através da História e Filosofia da Ciência, como abordagem metodológica. O ensino por intermédio desta abordagem, além de contar com o conteúdo da Física Moderna e Contemporânea, permite ao aluno perceber o desenvolvimento gradativo do conhecimento (MARTINS, 2006).

O presente trabalho contém uma proposta de tópicos de Cosmologia para o professor de Ensino Médio abordar em sala de aula. Este material também contém a integração de novas tecnologias, servindo como ferramentas capazes gerar a construção do conhecimento (LARSEN, 1998).

Assim, se torna possível a elaboração de um material sobre tópicos de Cosmologia para o Ensino Básico por meio de uma abordagem metodológica associada à História e Filosofia da Ciência, as quais buscam desenvolver o senso crítico de localização do ser no espaço e no momento histórico.

Desta maneira, o presente Trabalho de Conclusão de Curso envolve tópicos de Cosmologia e a sua inserção no Ensino Médio. Seu desenvolvimento se dá segundo introdução, referenciais teóricos, metodologia, uma breve introdução à Cosmologia, aplicação e considerações finais. Os objetivos desta pesquisa estão presentes no subitem que segue.

1.1 Objetivo da pesquisa

O presente trabalho possui como principal objetivo, desenvolver um material de apoio para o professor sobre tópicos de Cosmologia no contexto do Ensino Médio, por intermédio de uma abordagem Histórico-Filosófica considerando os pressupostos de Gastón Bachelard (1996). O respectivo material de apoio conta com a breve introdução à Cosmologia e uma sequência de dois planos de aula para a aplicação no Ensino Médio.

Tornando-se necessário selecionar, por intermédio de levantamento de dados, os tópicos a serem inseridos nas aulas, desenvolver os planos de aula e verificar indícios de ruptura de obstáculos epistemológicos com a aplicação da proposta educacional.

Inicialmente, o referencial teórico descreve os documentos oficiais do Ministério da Educação que oferecem embasamento para o desenvolvimento das aulas, a inserção dos Três Momentos Pedagógicos e sua interlocução com os Obstáculos Epistemológicos de Bachelard e indica os possíveis tópicos da Cosmologia. A metodologia esclarece o desenvolvimento dos processos de construção, aplicação e análise e a breve introdução a Cosmologia comenta pontos fundamentais para a compreensão desta ciência.

O item aplicação descreve, com o uso da Análise de Conteúdo, o decorrer das aulas e as considerações finais procuram indicar os pontos favoráveis ao uso de uma Abordagem Histórico-Filosófica juntamente ao conteúdo de Cosmologia em aulas para o Ensino Médio.

Considerando todas as etapas a serem desenvolvidas neste trabalho, o próximo item justifica a utilização de tópicos de Cosmologia como meio de sintetizar e contextualizar os conteúdos de física do Ensino Médio por intermédio dos PCN, PCN+ e DCN.

2 DOCUMENTOS OFICIAIS E A COSMOLOGIA

Dentre os principais documentos norteadores da educação brasileira, encontram-se os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) e as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN). Estes documentos abordam a estrutura organizacional do ensino e possíveis métodos avaliativos a serem empregados no Ensino Médio brasileiro.

O PCN é um documento que difunde a reforma curricular e orienta os professores a utilizar metodologias e abordagens diversas, apoiando o currículo em competências básicas e traçando possíveis caminhos para a contextualização e interdisciplinaridade dos conteúdos (BRASIL, 2016). Seus principais objetivos se concentram no desenvolvimento de conhecimentos práticos que são requeridos na contemporaneidade e conhecimentos abstratos que ofereçam uma visão de mundo, objetivando a contextualização na cultura do aluno (BRASIL, 2000).

O PCN+ - Física (BRASIL, 2002) é um documento mais preciso e focado nos tópicos específicos da Física, reformulando as novas áreas do conhecimento e revisando o projeto político pedagógico da escola. Para este documento, a Física necessita desenvolver competências que permitam que alunos verifiquem e compreendam os fenômenos naturais e tecnológicos que os cercam.

Dentre as principais competências a serem tratadas na área da física no Ensino Médio, segundo o PCN+, enquadram-se a compreensão pelas quais a física, técnicas e tecnologias influenciam a interpretação do mundo.

Ainda neste documento, é descrita a necessidade da extrapolação dos conceitos da relatividade e das ideias quânticas para as diversas áreas de ensino. Esta afirmação se dá pela capacidade de modelos cosmológicos unirem várias áreas do conhecimento e de sistematizar diversos conteúdos (BRASIL, 2002).

O tema VI, designado "Universo, Terra e Vida", segundo o enquadramento do PCN+ - Física, é abordado em três unidades temáticas "Terra e sistema solar", "O Universo e sua origem" e "Compreensão humana do Universo". Este tema é tratado em um período de 6 meses, o que evidencia pouco tempo hábil para abordar modelos cosmológicos (BRASIL, 2002).

Os PCN sugerem a possibilidade de inserção de tópicos de Cosmologia no Ensino Médio, de maneira que possa ser usado como uma síntese abrangente de

todos os conteúdos previamente abordados no ensino de Física. É descrito que a estruturação refinada do conhecimento desenvolvido na Física requer, indispensavelmente, a capacidade de elaborar sínteses (BRASIL, 2000).

As DCN declaram que o principal espaço de acesso ao conhecimento é a escola e é por meio deste que a sociedade pode se transformar. Neste ambiente, se faz necessário que o professor utilize uma metodologia capaz de colocar os alunos em situações reais, de fazer e elaborar (BRASIL, 2016).

A estruturação deste conhecimento está diretamente ligada ao processo de aprendizagem, a qual deve ser estruturada de modo que os alunos se sintam motivados e aptos a enfrentar obstáculos previamente não superados. Contudo, este processo de aprendizado decorre de maneira não linear, descrito como inacabado e dialético (SANTOS, 1991).

Assim, se faz necessário desenvolver uma abordagem metodológica que possibilite trabalhar o conteúdo de Cosmologia no Ensino Médio. Uma possibilidade encontrada é, justamente, o desenvolvimento destas aulas por intermédio dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti e pela Teoria dos Obstáculos Epistemológicos de Bachelard, conforme presente no item três deste trabalho.

3 OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS E OS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS DE BACHELARD

Segundo Bachelard (1996), para que a aprendizagem ocorra, é necessário apresentar razões lógicas, para que o aluno possa evoluir, substituindo conhecimento fechados e estáticos por abertos e dinâmicos. Os conhecimentos fechados, de acordo com Bachelard, são aqueles que não estão presentes no cotidiano do aluno, enquanto que os conhecimentos abertos e dinâmicos são úteis para a resolução de problemas do dia-a-dia, representando uma parcela de conhecimento substancial necessário para o desenvolvimento do indivíduo.

Esta substituição do saber fechado para o saber dinâmico requer necessariamente abordagens metodológicas mais eficientes que centram o aluno no processo de ensino-aprendizagem.

A maior contribuição da teoria dos obstáculos epistemológicos de Bachelard, se baseia principalmente no erro e na sua retificação para o desenvolvimento do conhecimento científico. Assim, o erro é a parte positiva no desenvolvimento cognitivo do ser, onde a própria verdade se modifica (LOPES, 1996).

Contudo, o ensino de ciências não é algo trivial, conforme Baird (1988), a natureza e o desenvolvimento da ciência são objetos de constantes debates, levando o seu ensino a requerer ainda mais atenção. Os principais debates sobre o ensino de ciências requerem, de forma geral, que o aluno compreenda não só o mecanismo algébrico, analítico e geométrico da interpretação física, mas o motivo de sua existência (VALADARES, 1995).

Uma das maneiras de tratar o ensino de ciências de forma a se adequar às discussões previamente realizadas é por intermédio de uma abordagem histórica. O uso da história no ensino pode permear diversos conteúdos e disciplinas, tornando o ensino de conceitos teóricos mais interessante e palpável (CASTRO; CARVALHO, 1992).

Esta abordagem permite com que o aluno deixe de compreender os fenômenos somente por meio da repetição e passe elaborar conceitos aprofundados de diversos aspectos da sociedade, da política e da religião. Segundo Gagliardi e Giordan (1986), o professor de ciências deve desenvolver diversas atividades que levem o aluno a se desligar das verdades equivocadas e que, ao mesmo tempo, os motive a aprender.

A história da ciência não deve compreender meros fatos, mas deve abranger a interdependência da atividade humana no contexto social, político, econômico, religioso e cultural. Neste contexto, a ciência é tida como o conjunto dos conhecimentos teóricos sobre fenômenos naturais baseados em metodologia e fundamentação experimental (ROSA, 2010).

Além da história da ciência, também pode-se destacar a filosofia da ciência como uma abordagem bastante aceita para o desenvolvimento do ensino da FMC. Esta permite que se compreenda que até mesmo os pensadores mais importantes da história erraram e fizeram presunções incorretas (BARBER, 1961).

A filosofia, de forma geral, permite verificar que alguns preconceitos estereotipados ainda persistem para com os cientistas, tais como o gênio louco, o excêntrico e o endeusado. Estes aspectos se caracterizam pela mistificação do cientista e o enfoque da filosofia da ciência é justamente desmitificar os grandes nomes da ciência por intermédio de um pensamento crítico e coerente (ALVES, 1981).

Visando a melhor abordagem possível neste contexto, a histórico-filosófica foi adotada com ênfase na história da ciência de modo a trazer controvérsias, inquietações e interfaces da física, história, sociologia, política, religião e da filosofia (GUERRA; REIS, 2014).

A abordagem histórico-filosófica consiste na humanização das ciências e procura aproximá-las do pessoal, do cultural e da comunidade. Esta é caracterizada como uma maneira de fazer a ciência desafiadora e reflexiva, trazendo significado ao antes não compreendido (MATTHEWS, 1995).

O uso da história e filosofia das ciências em sala de aula nem sempre deve ser aplicada a todas as aulas de um curso, porém o complementa das mais variadas formas. Este viés de estudo permite que o aluno compreenda a complexidade e a dificuldade de se desenvolver a ciência em suas mais diversas manifestações (SHERRATT, 1982).

O estudo correto de algumas situações históricas no ensino de ciências pode levar o aluno a compreender o aspecto coletivo da construção do conhecimento, dos procedimentos tomados para a elaboração das teorias até a limitação prática destes conceitos (MARTINS, 2006).

Esta abordagem leva à compreensão do motivo pelo qual uma proposição é comprovada e como ela se relaciona com os demais aspectos da física, levando os

alunos a perceberem o motivo pelo qual estão desenvolvendo determinado conteúdo e os motivando a fazer ciência (BATISTA, 1993).

Conforme o livro "A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento" de Gastón Bachelard de 1996, o sujeito se coloca no ato de conhecer, fazendo com que a aprendizagem esteja submetida a concepções diversas sobre um mesmo aspecto da ciência. A partir da inhomogeneidade sobre conceitos surge a teoria dos obstáculos epistemológicos, as ideias de como rompê-los e utilizá-los para a própria geração de novos conhecimentos.

De acordo com Bachelard (1996), o primeiro obstáculo epistemológico é denominado a *experiência primeira*, tal qual se refere ao impulso do querer aprender, sem que haja um desenvolvimento crítico presente no processo de ensino-aprendizagem.

O segundo obstáculo epistemológico é chamado de a *ciência do geral*, que condiz com a facilidade da generalização daquilo que não é totalmente compreendido. Já os *obstáculos verbais* são aqueles conhecimentos desenvolvidos por intermédio de analogias ou metáforas, que nem sempre são verdades consistentes. Outros obstáculos como o *substancialista*, *realista* e *animista* também fazem parte do respectivo trabalho de Gastón, contudo, não serão ressaltados neste trabalho.

Ainda nesta obra, Bachelard afirma que o novo conhecimento só pode ser gerado a partir da superação dos conhecimentos prévios que trazem concepções peculiares destes indivíduos. Assim, o professor necessita conhecer os obstáculos enfrentados pelos alunos para que a ação didática ocorra de maneira coerente com as dificuldades encontradas.

Portanto, se faz necessário que o professor rompa com a superficialidade dos conteúdos abordados, utilizando uma abordagem ativa, profunda e dialogada para com os alunos. O ponto principal que deve ser levado em consideração, a respeito das metodologias de ensino utilizadas pelo professor, é a consideração dos conhecimentos prévios dos alunos e a ruptura destas concepções anteriores (GOMES; OLIVEIRA, 2007).

Para que estes objetivos sejam cumpridos, este trabalho conta com os "Três Momentos Pedagógicos" descritos por Delizoicov (1982) e Angotti (1982), sendo eles: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento. Ambos determinam que um protagonista bastante importante no desenvolvimento de

seu trabalho foi Bachelard, isto se dá, principalmente, pela compreensão de que o conhecimento se origina da resolução de problemas consistentes.

Assim, a proposta entrelaça a necessidade de formular problemas com a problematização inicial, o desenvolvimento do conhecimento a partir da problematização inicial com a organização do conhecimento e a ruptura do obstáculo epistemológico com a aplicação do conhecimento (DELIZOICOV, 2005).

Assim, se torna necessário discutir os meios de desenvolvimento do material, tal qual é introduzido pelo levantamento de dados tipo Estado da Arte de Ferreira (2002), conforme presente no próximo item.

4 ESTADO DA ARTE DO ENSINO DE COSMOLOGIA NO BRASIL

Neste levantamento de dados, se objetivou identificar tópicos de Cosmologia essenciais para o desenvolvimento de aulas de Cosmologia no Ensino Médio. O respectivo levantamento se deu pela análise de artigos selecionados em revistas, congressos e simpósios que representam a maior parcela da produção acadêmica acerca do Ensino de Cosmologia no Brasil (FERREIRA, 2002).

Sendo assim, o levantamento de dados ocorreu por intermédio dos principais eventos, Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) e revistas de Ensino de Física, Ciências e Astronomia do Brasil. Dentre estes, se encontram o Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências (ENPEC), Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), Simpósio Nacional de Ensino de Astronomia (SNEA), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) e A Física na Escola (FnE).

A análise do Caderno Brasileiro de Ensino de Física contou com todos os volumes produzidos entre 2010 e 2015 e A Física na Escola com os volumes entre 2010 e 2012, quando 2012 foi seu último ano de publicação. A análise dos Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, publicados entre os anos de 2010 e o ano de 2015, também foi realizada.

Os trabalhos analisados foram publicados de 2010 até 2015 e passaram por uma seleção caracterizada por etapas bem definidas. Inicialmente foi observada a presença dos termos Cosmologia e Ensino concomitantemente no título dos artigos, sendo seguida pela averiguação da compatibilidade dos resumos destes artigos com o ensino de Cosmologia no Ensino Médio. Este processo gerou a tabela 1 que demonstra a quantidade de artigos publicados em relação ao ano de publicação.

Tabela 1 - Número de artigos verificados e analisados nos eventos ENPEC, SNEF e SNEA e nas revistas CBEF e FnE. Os traços simbolizam a ausência do evento ou revista e, o número zero, o valor nulo de trabalhos com títulos envolvendo Cosmologia e Ensino.

Evento ou Revista / Ano	ENPEC	SNEF	SNEA	CBEF	FnE
2010	-	-	-	0	0
2011	0	0	2	0	0
2012	-	-	0	0	0
2013	1	0	-	0	-
2014	-	-	1	0	-
2015	1	0	-	0	-

Fonte: Autoria própria

Os artigos selecionados possuem os títulos:

- Big Bang Brasil: Uma Peça Teatral com Abordagem Histórico-Filosófica para o Ensino de Cosmologia.
- A Cosmologia em Teses e Dissertações sobre Ensino de Astronomia no Brasil.
- O Ensino sobre a Natureza da Ciência através de Tópicos de Cosmologia: Análise de uma Proposta Didática Utilizando Jogos.
- História da Astronomia no Ensino Médio: Discutindo a Cosmologia Grega Através do Modelo de Universo De Eudoxo.
- Tópicos de Cosmologia no Ensino Médio: Uma Abordagem a Partir de Atividades Investigativas.

Além dos artigos encontrados, foi verificado que um TCC produzido pela Licenciatura em Física do Campus Curitiba da UTFPR em 2014 de título “Noções de Astrofísica e de Cosmologia Moderna nas Aulas de Física do Ensino Médio: Uma Sequência Didática a Partir do Paradoxo de Olbers”.

Pode-se observar que os artigos produzidos no contexto do ensino de Cosmologia são escassos no Brasil, tendo em vista que nos últimos cinco anos, em três eventos e duas revistas, foram publicados apenas cinco artigos sobre o tema. Assim como é possível verificar as tentativas de inserção de tópicos de Cosmologia por intermédio de diversas abordagens, incluindo a abordagem histórico-filosófica.

Estes artigos trazem, notoriamente, diversos tópicos de Cosmologia como as discussões históricas presentes no desenvolvimento desta ciência, teorias do surgimento do universo e sua evolução, questões sociais no desenvolvimento científico, modelagens, inflação e *Redshift*.

Desta maneira, foram elaboradas sequências de tópicos a serem tratados na breve revisão de Cosmologia deste trabalho, ressaltando os itens previamente descritos.

Inicialmente são abordados aspectos históricos acerca do desenvolvimento da Cosmologia, que permeia as diversas partições da física, a geometria do Universo tendo como partida o Teorema de Pitágoras e, por fim, as teorias de surgimento e expansão do Universo.

Estes conteúdos serviram como base para a elaboração dos planos de aula, tais quais são descritos na metodologia de elaboração do material.

5 METODOLOGIA DE ELABORAÇÃO DO MATERIAL

Pode-se verificar a importância da FMC no ensino de ciências, segundo os documentos federais (PCN, PCN+ - Física e DCN) anteriormente verificados e a sua viabilidade de aplicação por intermédio de uma abordagem histórico-filosófica apoiada pelos pressupostos de Gastón Bachelard.

A elaboração do material didático de Cosmologia voltado para o professor de Ensino Médio no Brasil é necessária, tomando como base a escassez de propostas verificadas no levantamento tipo Estado da Arte presente no item quatro deste trabalho.

Então, foi estruturada uma breve introdução à Cosmologia que utiliza os tópicos de Cosmologia encontrados no item quatro deste trabalho e procura aproximar o professor de Ensino Médio ao conteúdo específico de Cosmologia. Esta introdução conta com a descrição do que é a Cosmologia, da Relatividade Restrita, conceitos superficiais da Relatividade Geral e uma revisão histórica e filosófica moderna da Cosmologia, conforme presente no item oito deste trabalho.

Já os planos de aula elaborados neste trabalho compreendem duas aulas consecutivas de uma hora-aula cada, de modo a possibilitar a aplicação em um curto tempo para duas turmas do Ensino Médio.

Os planos de aula foram baseados em temas, objetivos, conteúdos, estruturação da aula e em ambientes/recursos didáticos. Os temas das aulas foram escolhidos de forma a motivar os alunos, enquanto os objetivos traçados foram determinados pela escolha dos conteúdos e pela abordagem metodológica utilizada. Os conteúdos trabalhados nos planos de aula são os mesmos dispostos no item oito deste trabalho, contudo, são abordados de forma mais superficial. As aulas se baseiam em uma sequência de 16 slides contendo imagens e um vídeo, os quais auxiliam o professor na exposição dos tópicos a serem trabalhados.

Os temas, objetivos e conteúdos estão presentes no quadro 1, já os planos de aula inteiramente desenvolvidos estão presentes nos apêndices A e B e os slides estão presentes no apêndice C.

Quadro 1 – Estrutura dos planos de aula.

Estrutura	Aula 1	Aula 2
Tema	Geometria e desenvolvimento do Universo	Do início do espaço-tempo ao infinito
Objetivos	<p>Questionar o papel de uma geometria no cotidiano</p> <p>Ilustrar aspectos da geometria euclidiana</p> <p>Discutir as alterações geradas pelas transformações de Lorentz</p> <p>Debater superficialmente as teorias do início do Universo</p> <p>Reunir informações acerca da planaridade do Universo por intermédio de um experimento quantitativo</p>	<p>Apontar as concepções do início dos tempos dos alunos</p> <p>Descrever os estágios acelerados e desacelerados do Universo</p> <p>Demonstrar os principais estágios de evolução do Universo</p> <p>Comparar os períodos de tempo que distanciam as etapas de desenvolvimento do Universo</p> <p>Analisar as Linhas espectrais e o efeito do <i>Redshift</i> por intermédio de um experimento qualitativo</p> <p>Julgar a possibilidade de velocidades superiores a c e a existência de Matéria Escura e Energia Escura</p>
Conteúdos	Geometria Euclidiana; Coordenadas Cartesianas; Invariantes de Lorentz; Criação do Espaço-Tempo; Planaridade do Universo	Inflação; Desenvolvimento do Universo; Linhas Espectrais; <i>Redshift</i> ; Velocidades Superiores a c ; Matéria e Energia Escura

Fonte: Autoria própria

Os planos de aula foram elaborados para a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) por motivos de conveniência e a turma escolhida foi a turma de Física VIII do Ensino Médio Técnico, pois os alunos já obtiveram uma introdução à Relatividade Restrita no curso de Física VII. O respectivo curso da UTFPR possui quatro anos de duração, em que os cursos de física são separados por semestre, nos quais, especificamente, o curso de Física VIII se destina, majoritariamente, aos conteúdos da FMC, conforme a quadro 2. Sendo assim, esta é uma turma adequada para a aplicação do material desenvolvido.

Quadro 2 – Tópicos trabalhados em Física VII e Física VIII na UTFPR no Ensino Médio Técnico.

Turma / Item	Física VII	Física VIII
Tópicos que constam na ementa do curso	Magnetismo Eletromagnetismo Transformadas Galileanas Relatividade Restrita Relatividade Geral	Mecânica Quântica Radioatividade Fissão Nuclear Fusão Nuclear

Fonte: Autoria própria.

A metodologia de aplicação do material elaborado é descrita no item seis deste trabalho, o qual procurou aprofundar o método de estruturação da aula.

6 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO MATERIAL

Juntamente à elaboração deste material, foram planejadas regências em sala de aula divididas em dois momentos. O primeiro momento foi pensado para situar os alunos no contexto da geometria envolvida na Cosmologia e o segundo momento para a compreensão do local que ocupam no Universo, compreendendo como iniciou e se desenvolve. Cada um destes momentos respeita o aspecto histórico-filosófico da abordagem utilizada e os Três Momentos Pedagógicos.

Sendo assim, a primeira aula foi idealizada a partir de um questionamento sobre o que é uma geometria e para que é possível utilizá-la, indicando as noções de dimensões, ponto, linha, superfície e hipersuperfície. Retomando-se os fundamentos da geometria euclidiana e a função das coordenadas cartesianas, assim como a quantidade conservada de Euclides. As transformações de Lorentz e a nova métrica de Minkowski levam à reorganização dos conteúdos prévios para desenvolver uma compreensão diferente acerca do início do Universo.

A intenção da elaboração desta aula foi permitir a compreensão dos alunos sobre o início e atualidade da geometria do Universo, por meio da geometria e de um experimento quantitativo.

Este experimento procura trazer a compreensão da planaridade do Universo por intermédio da aferição da soma dos ângulos internos de um triângulo em uma geometria Euclidiana e em uma geometria pseudo-Euclidiana. Seu desenvolvimento se baseia em pequenos grupos formados pelos alunos, os quais desenham triângulos na superfície da bexiga vazia e aferem a soma dos ângulos internos de seus triângulos com o uso de transferidores. A média da soma dos ângulos internos dos triângulos de todos os grupos deve permanecer próxima a 180° , então os alunos devem encher as bexigas e realizar o procedimento novamente, identificando que este valor de 180° aumentou radicalmente, conforme indica a figura 1.

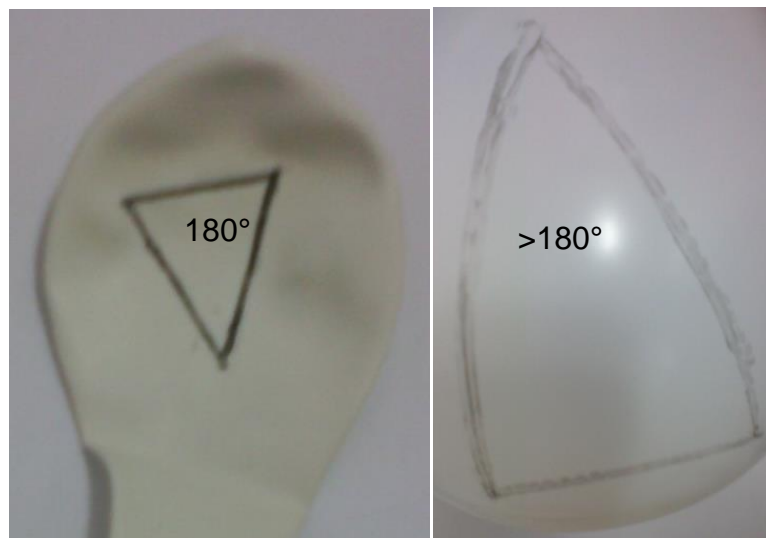


Figura 1 - Aumento da soma dos ângulos internos de um triângulo de uma geometria Euclidiana para uma geometria pseudo-Euclidiana
Fonte: Autoria própria.

Com este experimento realizado, o esperado é discutir um meio de verificar a planaridade do Universo e realizar analogias aos experimentos modernos que indicam que o Universo é Plano.

A proposta do início da segunda aula foi sobre o questionamento do motivo do Universo ser plano, objetivando demonstrar que existem duas alternativas para que ele seja plano hoje, ou ele sempre foi plano ou ele sofreu uma expansão acelerada que o deixou plano. Em seguida, foi programada a apresentação do site intitulado A História do Universo em 13 Momentos, que separa claramente os momentos de maior interesse da evolução do Universo.

Questionando acerca do desenvolvimento do universo que varia positivamente sua velocidade em relação ao tempo, se perguntou sobre os efeitos de uma expansão acelerada para quem está na Terra. Neste momento, se planejou discutir sobre as linhas espectrais dos átomos e realizar outro experimento com as bexigas.

Este segundo experimento é qualitativo e bastante simples. Os agrupamentos de alunos continuariam da mesma forma, contudo eles precisam desenhar diversos pontos na superfície da bexiga e então enchê-la e verificar o que ocorre enquanto ela está enchendo, conforme a figura 2.



Figura 2 - Analogia ao aumento do tecido espaço-tempo entre as galáxias
Fonte: Autoria própria.

Identificando a Lei de Hubble neste breve experimento qualitativo, é possível associar a linha espectral dos átomos na Terra com as linhas espectrais em galáxias que se afastam do referencial terrestre. Este experimento busca compreender a relação do deslocamento das linhas espectrais, dependentes da velocidade de aproximação ou afastamento dos objetos estudados, com o *Blueshift* e o *Redshift*.

O respectivo experimento possibilita a introdução de fatores contraditórios como velocidades superiores a velocidade da luz, já que quanto mais distante está uma galáxia da Terra, mais rápido ela estará se afastando.

Os conceitos de Matéria e Energia Escura podem ser discutidos em um momento oportuno. Durante este último momento da aula, é esperada a convergência de tudo que foi discutido para gerar novas discussões mais elaboradas e com algum embasamento teórico.

Desta forma, ambas as aulas abordam aspectos históricos por meio das dificuldades encontradas pelos filósofos, matemáticos e físicos e os aspectos filosóficos estão presentes durante todos os momentos de questionamentos e discussões. Assim como a disposição dos conteúdos citados no capítulo quatro, possibilitando a verificação de alguns indícios de obstáculos epistemológicos acerca destes tópicos de Cosmologia, conforme indica o próximo capítulo.

7 METODOLOGIA DE ANÁLISE DO MATERIAL

Nesta pesquisa, o meio pretendido de coleta de dados é por intermédio de captura de áudio, cuja a análise segue as prerrogativas de Bardin da análise de conteúdo do tipo classificatório. Este tipo de análise trata de examinar as respostas a uma série de perguntas que procurem estabelecer relações que o indivíduo mantém com certo conceito. A análise de conteúdo é como um aglomerado de técnicas de análise que faz uso de sistematizações e objetiva descrever certo conteúdo. Assim, a análise dos resultados obtidos foi dada pela associação de estereótipos ou associações (BARDIN, 2009).

Esta gravação em áudio é uma observação direta intensiva que se enquadra pela observação do desenvolvimento da aula, focando na obtenção de informações por meio dos sentidos (BARBOSA, 1998).

A análise dos áudios, nesta ocasião, ocorre pela observação de situações de confusão e indignação dos alunos quanto a aspectos trabalhados, visando observar indícios de obstáculos epistemológicos que parecem ser intransponíveis. Tendo como principal objetivo da análise do áudio, a recordação das aulas pelo professor que procura gerar indícios de ruptura de obstáculos epistemológicos por meio de questionamentos e discussões.

A junção destes aspectos leva esta pesquisa a conter uma escolha de métodos na aquisição e análise de diversas perspectivas, assim como uma reflexão a respeito da própria pesquisa e, assim, podendo ser definida como uma pesquisa qualitativa (FLICK, 2004).

A proposta, como um todo, é uma pesquisa de cunho qualitativo de observação participante. De acordo com Flick (2004), a pesquisa qualitativa tipo observação participante é aquela em que o pesquisador observa o processo como um membro, mas também influencia os fenômenos observados devido a sua participação.

Nesta situação, a participação do observador será como o professor de duas turmas de Ensino Médio Técnico do oitavo período (último semestre do curso) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Campus Centro. As aulas, nesta instituição, são divididas em duas horas-aula consecutivas por semana e o professor possui cerca de 30 horas-aula por semestre.

As gravações serão realizadas com o uso de dois microfones em cantos diferentes da sala, de modo a aprimorar a qualidade do som obtido. A análise das

gravações tem por objetivo verificar indícios de rupturas de obstáculos epistemológicos no decorrer da aula, tal qual é exposta nos itens nove e dez deste trabalho.

Contudo, as aulas foram anteriormente planejadas com o intuito de exaltar os obstáculos epistemológicos enfrentados pelos alunos, e assim, é esperado identificar indícios de rupturas de obstáculos epistemológicos. Estes indícios podem ser verificados quando forem discutidos tópicos como a criação do espaço-tempo, o período da inflação e velocidades superiores a velocidade da luz, que estão melhor detalhados no item oito que segue.

8 UMA BREVE REVISÃO DA COSMOLOGIA

A Cosmologia pode ser entendida como o estudo do Universo e é caracterizada como uma parte da Astronomia que estuda a estrutura do Universo. Este estudo pode ser dividido em duas esferas, a Cosmologia Clássica e a Cosmologia Moderna desenvolvida por Albert Einstein em 1915-1917. Albert Einstein levou a Cosmologia a um novo patamar durante os famosos *Annus mirabilis* de sua vida, englobando a Teoria Newtoniana em um grau de maior complexidade (ROSA, 2010).

As conclusões de Einstein levaram a Cosmologia Moderna a compreender a constância da velocidade da luz em qualquer referencial inercial e, principalmente, a geometria que descreve o Universo. Dentre estas conclusões, existem duas subdivisões de sua teoria, a chamada Relatividade Restrita (RR) ou Relatividade Especial (RE) e a Relatividade Geral (RG). A primeira se preocupa em descrever a simetria com respeito às transformações de coordenadas em referenciais inerciais, utilizando como base matemática as Transformações de Lorentz. A segunda se ocupa em explicar a simetria em aspectos mais gerais, incluindo sistemas de coordenadas acelerados ou sistemas em que a gravidade é presente (CHENG, 2015).

Para a melhor compreensão da Relatividade Restrita e da Relatividade Geral, são descritos alguns fatores determinantes de seus desenvolvimentos nas partes 8.1 e 8.2 deste capítulo. A Cosmologia é tratada na parte 8.3 deste trabalho, onde assume um caráter consistente e torna-se de fácil compreensão após a leitura dos itens reservados às Relatividades de Einstein.

8.1 A RELATIVIDADE RESTRITA

A Relatividade Restrita, como uma simetria de sistemas de coordenadas, foi primeiramente observada na propagação da onda eletromagnética, que se mostrou ser variante sob Transformações de Galileu, ou seja, quando esta equação é transformada, sofre alterações e perde sua invariância (constância nos referenciais inerciais) (CHENG, 2015). Para descrever este fenômeno, o item 8.1.1 foi elaborado.

Além destas implicações, as transformações de Lorentz indicam que o tempo não é mais um ente absoluto, mas que a velocidade da luz no vácuo é, restabelecendo

uma nova compreensão da física. A constância da velocidade da luz no vácuo para os referenciais inerciais é, justamente, o segundo postulando da Relatividade Restrita (RINDLER, 1969).

Contudo, para possuir uma melhor interpretação do real motivo pelo qual as transformações de Galileu oferecem um resultado incoerente para velocidades da ordem de c , é necessário compreender em qual geometria e como o nosso espaço e tempo estão organizados na RR. Para verificar tais organizações, o item 8.1.2 foi desenvolvido e aborda as semelhanças e diferenças das concepções galileanas e minkowskianas do espaço e do tempo.

Neste contexto, a constância da velocidade da luz indica que quanto mais rápido um objeto se locomove, mais lentamente o tempo decorre e menor será sua largura para um observador em repouso e é então que surge o paradoxo dos gêmeos (MIT, 2007).

Entretanto, inicialmente, é possível verificar como os campos elétrico e magnético se comportam para com as transformações de Galileu e, se houver algum problema nas transformações, como é possível resolvê-las, conforme é apresentado no próximo subitem.

8.1.1 As Transformações de Galileu e as equações de Maxwell

É necessário, primeiramente, definir o conceito de referenciais inerciais, tais quais são descritos como aqueles que estão sujeitos à primeira Lei de Newton, a qual afirma que se um corpo está em repouso ou em Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) tende a permanecer neste estado a não ser que uma força resultante diferente de zero haja sobre ele. Assim, um referencial inercial é um referencial inserido em um corpo que não está submetido à forças externas ou que a soma das forças externas seja nula (CONNELL, 2006).

As transformações de um referencial inercial para outro podem decorrer a partir das Transformações de Galileu que estão presentes na figura 3 e na equação 1.

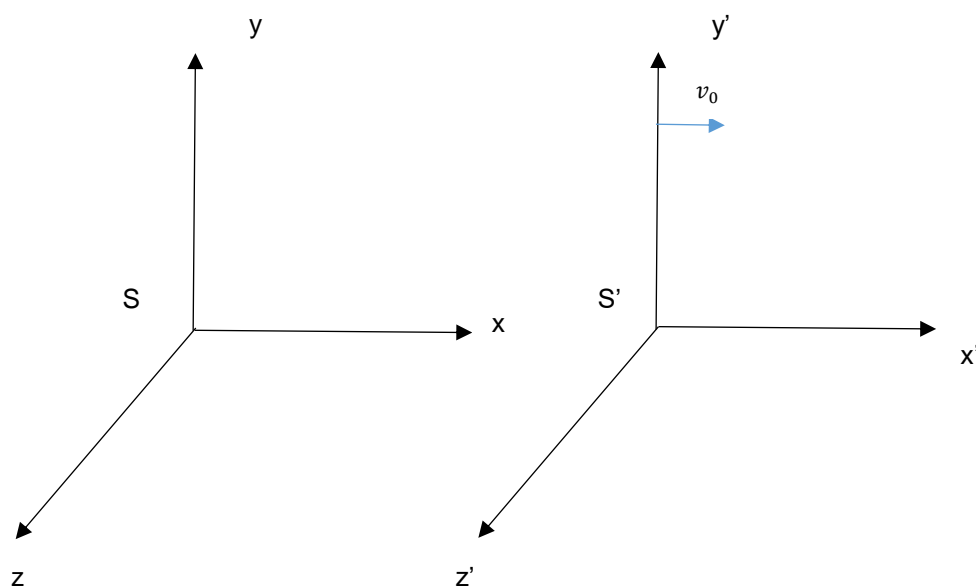


Figura 3 - Sistemas de referência S e S', onde S' está se movendo com velocidade constante v_0 .

Fonte: Autoria própria.

$$\begin{cases} x' = x - v_0 t \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases} \quad (1)$$

Assim, não importa a direção e o sentido da velocidade do sistema S', o tempo é invariante sob Transformações de Galileu. A invariância da aceleração pode ser rapidamente provada segundo estas transformações, de modo que $\frac{d^2 x'}{dt'^2} = \frac{d^2(x - v_0 t)}{dt^2} \therefore a' = a$.

Se esta Transformação for submetida às equações de Maxwell, elas variam de acordo com a dedução que segue nas equações (2) a (6).

Das equações de Maxwell para o vácuo, é possível observar que

$$\begin{cases} \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{cases} \quad (2)$$

de onde pode ser encontrada a função de onda como sendo

$$\left(\nabla'^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t'^2} \right) u(x, t) = 0 \quad (3)$$

onde $u(x, t)$ pode tomar lugar de \vec{E} e \vec{B} , $c = (\mu_0 \epsilon_0)^{-1/2}$, e tomando as transformações de Galileu como (4) (segundo a regra do produto).

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t'} = \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial t'} + \frac{\partial}{\partial x} v_x + \frac{\partial}{\partial y} v_y + \frac{\partial}{\partial z} v_z = \frac{\partial}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} \\ \frac{\partial}{\partial x'} = \frac{\partial}{\partial x} \end{cases} \quad (4)$$

então

$$\begin{aligned} \left(\nabla'^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t'^2} \right) u(x, t) &\equiv \left(\hat{x} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{z} \frac{\partial}{\partial z} \right) \cdot \left(\hat{x} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{z} \frac{\partial}{\partial z} \right) u(x, t) - \\ &\frac{1}{c^2} \left[(\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) + \frac{\partial}{\partial t} \right] \left[(\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) + \frac{\partial}{\partial t} \right] u(x, t) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Assim, a transformação da equação (3) será dada pela equação (6) que não são equivalentes e, portanto, a transformação de Galileu aplicada às Leis de Maxwell são variantes e diferem pelo fator $\left[-\frac{2}{c^2} (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \frac{\partial}{\partial t} - \frac{1}{c^2} (\vec{v} \cdot \vec{\nabla})^2 \right] u(x, t)$, conforme indica a equação 6.

$$\left[\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \frac{2}{c^2} (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \frac{\partial}{\partial t} - \frac{1}{c^2} (\vec{v} \cdot \vec{\nabla})^2 \right] u(x', t') = 0 \quad (6)$$

Contudo, o experimento de Michelson-Morley conseguiu definir que as Transformações de Galileu estavam incorretas para altas velocidades (velocidades da ordem da velocidade da luz) e foram as Transformações de Lorentz que tomaram seu lugar (KATZ, 1964).

Esta transformação toma a forma no conjunto de equações (7) dependentes somente de v_x , onde $\beta = v/c$ e $\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$ e preserva as transformações de

Maxwell. Todos os índices acompanhados por (') são aqueles que se encontram em movimento em relação aos índices que não o possuem.

$$\begin{bmatrix} ct' \\ x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma & -\beta_x \gamma & 0 & 0 \\ -\beta_x \gamma & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ct \\ x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (7)$$

Esta transformação também implica na relativização (quantidades que serão transformadas segundo a Transformação de Lorentz) de quantidades como a velocidade, o momento e a energia da partícula. Assim, a invariância das equações da física, em todos os referenciais inerciais, foi dada como o primeiro postulado da Relatividade Restrita (MIT, 2007).

Neste momento, tendo verificado que as transformações de Lorentz correspondem às transformações Galileanas para velocidades menores que a velocidade da luz, se faz necessário que se compreenda onde estas equações estão inseridas e sob quais pressupostos elas tomam forma física. Esta discussão ocorre no item seguinte deste trabalho.

8.1.2 O espaço-tempo das Transformações de Lorentz.

Para verificar a estruturação do espaço e do tempo na RR se faz necessário verificar o comportamento, semelhanças e diferenças entre o espaço e tempo de Galileu e o espaço-tempo de Minkowski. A primeira diferença que surge entre estas duas concepções se deve ao tempo não estar intrinsecamente relacionado ao espaço, conforme a figura 4.

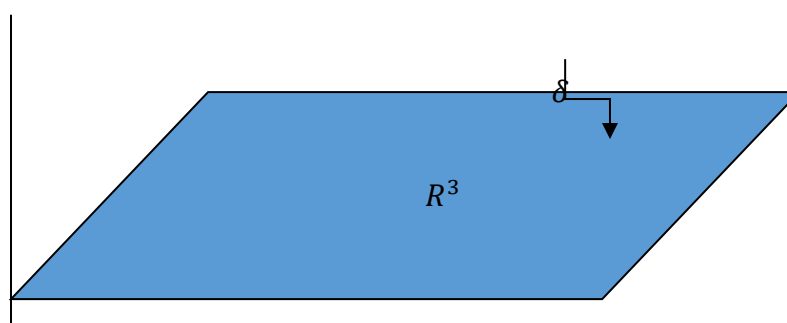


Figura 4 - Espaço tempo de Galileu, onde δ é a métrica.

Fonte: Autoria própria.

Já a Relatividade Especial (na métrica de Minkowski), conta com a homogeneidade e isotropia do espaço caracterizado por uma topologia trivial onde $G_{\mu\nu} = 0$ em um espaço (R^4, η) comumente caracterizado pela figura 5. Tal questão é melhor trabalhada no item 8.1.3 deste trabalho.

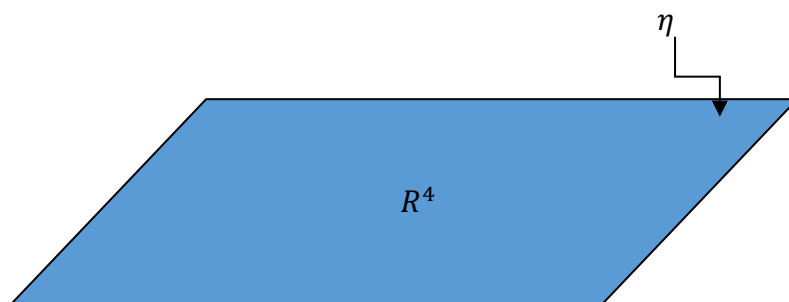


Figura 5 - Espaço-tempo da Relatividade Restrita, onde η é a métrica de Minkowski.

Fonte: Autoria própria.

Neste sentido, se pode observar que o espaço e o tempo estão completamente separados no espaço e no tempo Galileano, enquanto estão intimamente interligados no espaço-tempo da RR.

O espaço tempo de Galileu admite que o tempo é uma quantidade absoluta, portanto, independentemente da congruência, a variação temporal é sempre uma constante, oferecendo planos de simultaneidade temporal, conforme a figura 6.

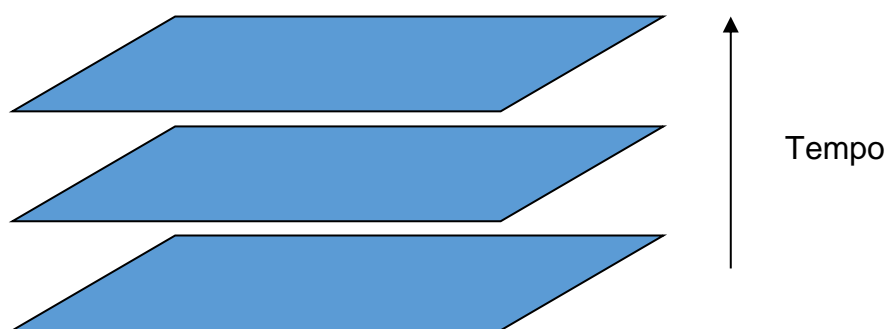


Figura 6 - Simultaneidade temporal

Fonte: Autoria própria.

Nesta figura observa-se que, qualquer conjunto de pontos, em um só plano são considerados simultâneos temporalmente, pois estão em um tempo que só pertence àquele plano Galileano em uma métrica Euclidiana.

Já no espaço-tempo da RR, há a presença de uma velocidade absoluta c (velocidade da luz). Para tanto, o espaço e o tempo devem estar interligados de maneira intrínseca para gerar assíntotas em velocidades maiores que esta, conforme a figura 7.

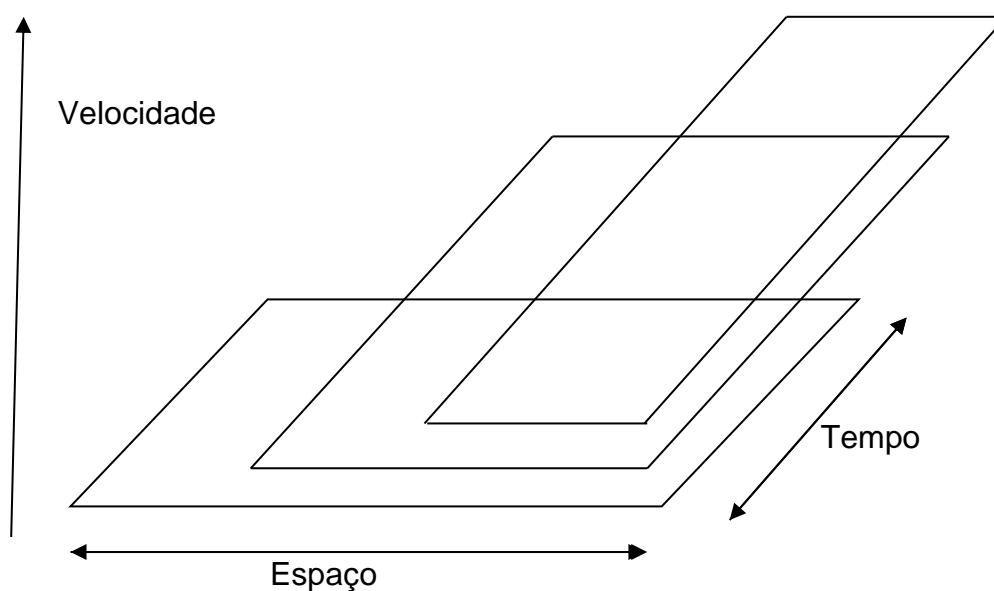


Figura 7 - Espaço-tempo de Minkowski conforme velocidades relativísticas aumentam.

Fonte: Autoria própria

Assim, a totalidade do espaço-tempo tende a possuir um tempo infinito para partículas viajando à velocidade da luz, enquanto o espaço tende a adquirir dimensão nula.

Com todos estes mecanismos em mãos, torna-se possível discutir alguns paradoxos, tal como o paradoxo da garagem, respectivamente presente no item 8.1.3.

8.1.3 O paradoxo do carro na garagem.

O respectivo problema se refere a um carro maior que o tamanho da garagem. Contudo, se o carro estiver em uma velocidade relativística, ele poderia contrair seu tamanho e caberia na garagem.

O carro deve necessariamente entrar pela porta da garagem, imediatamente antes de bater na parede dos fundos da garagem esta se abre. Em seguida, assim

que a traseira do carro atravessar a porta da garagem, a porta da garagem se fechará imediatamente.

O paradoxo surge quando afirma-se que o espaço sempre se contrai para aquele referencial que está se movimentando em relação a outro referencial. Portanto, a garagem seria ainda menor para o carro, conforme a figura 8, mesmo que o carro se tornasse menor para a garagem e, conseqüentemente cabendo nela.

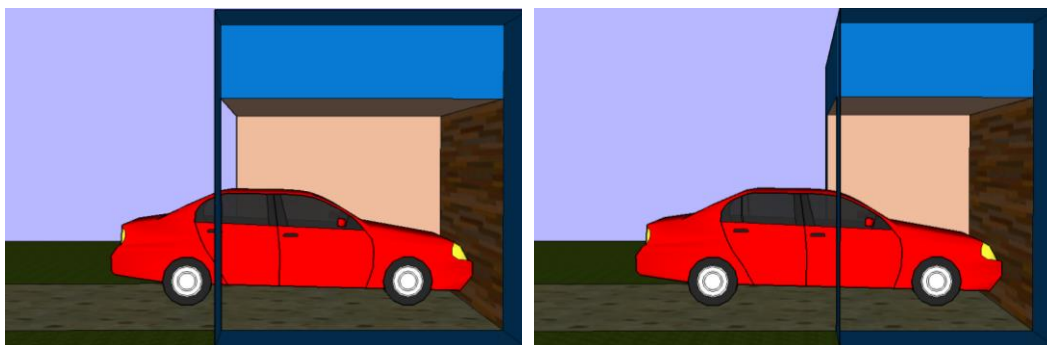


Figura 8 - Perspectiva se ambos estão em repouso (esquerda) e perspectiva de quem está no carro em alta velocidade (direita)

Fonte: Autoria própria.

O respectivo paradoxo só é resolvido se verificarmos o problema da simultaneidade que está envolvido no problema. O carro realmente caberá na garagem, contudo resta compreender o motivo.

O carro está primeiramente chegando na garagem à uma certa velocidade relativística capaz de fazer com que ele caiba na garagem. A garagem realmente o vê menor, enquanto ele observa a garagem reduzir seu tamanho, conforme a figura 9.

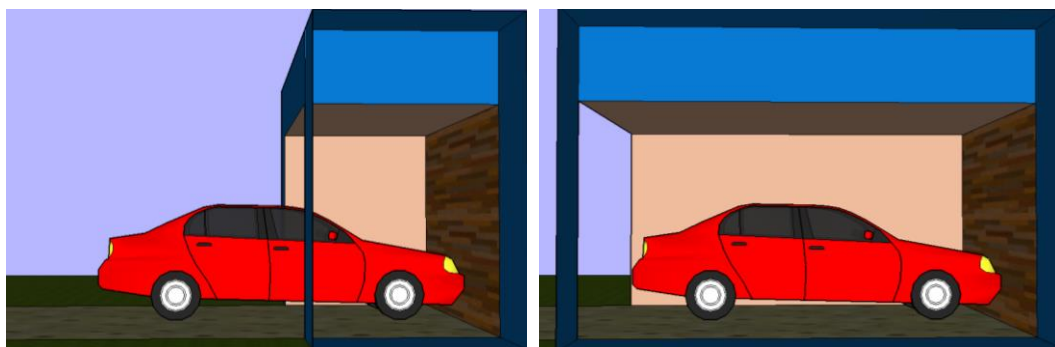


Figura 9 -Perspectiva de quem está no carro (esquerda) e perspectiva de quem está na garagem (direita) no instante 1

Fonte: Autoria própria.

Então, o carro encosta na parede da frente da garagem e imediatamente a parede se abre, de maneira exposta na figura 10.

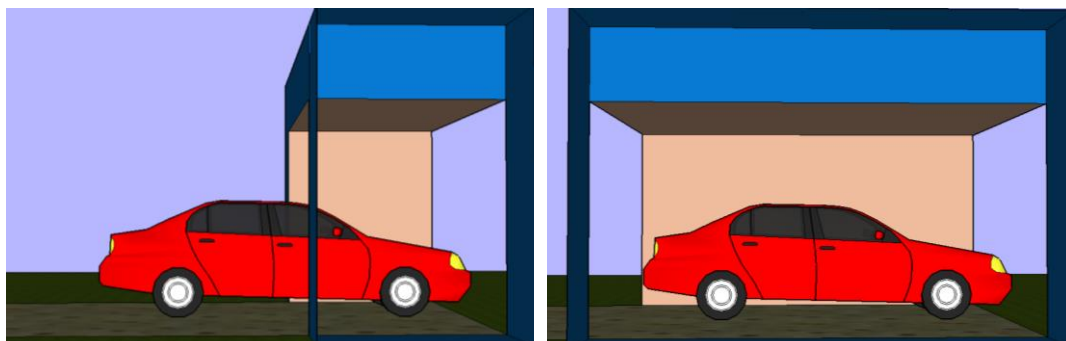


Figura 10 - Perspectiva de quem está no carro (esquerda) e perspectiva de quem está na garagem (direita) no instante 2

Fonte: Autoria própria.

O próximo momento simultâneo para os dois observadores será justamente quando a parte traseira do carro atingir a porta da garagem, conforme a figura 11.

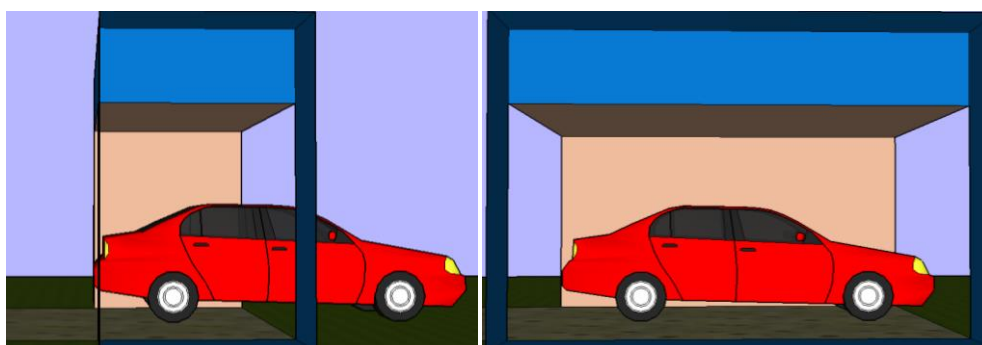


Figura 11 - Perspectiva de quem está no carro (esquerda) e perspectiva de quem está na garagem (direita) no instante 3

Fonte: Autoria própria.

Esclarecendo, portanto, o paradoxo do carro e da garagem, onde um carro maior que a garagem realmente cabe na garagem. Ou seja, o carro seria realmente menor, mas a garagem possuiria uma contração temporal em relação ao referencial do carro, sendo plausível no contexto da RR.

Sendo assim, o próximo item busca destacar alguns tópicos da Relatividade Geral, demonstrar o conceito de uma geodésica e o que ela significa e demonstrar superficialmente a solução externa de Schwarzschild.

8.2 A RELATIVIDADE GERAL

A Relatividade Geral possui, como base fundamental, o princípio da equivalência, o qual determina que a massa gravitacional e a massa inercial são equivalentes. Einstein verificou que um campo gravitacional homogêneo não poderia ser diferenciado de um elevador caindo com aceleração constante, conforme a figura 12.

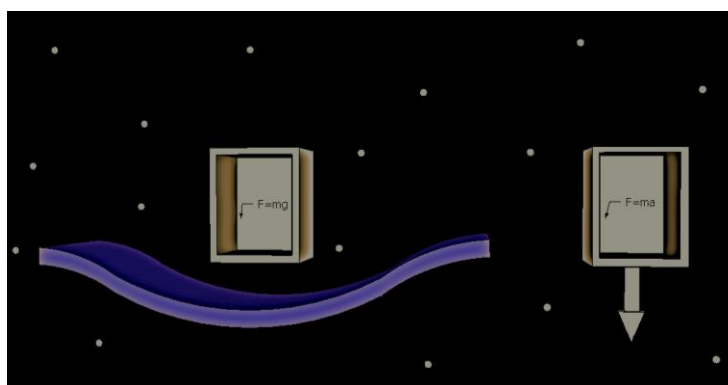


Figura 12 - Ilustração do *Gedankenexperiment* de Albert Einstein comumente denominado "O Elevador de Einstein".

Fonte: Autoria própria.

Pois, em verdade, é impossível saber se um elevador está se movimentando em um campo gravitacional ou se está se movimentando por intermédio de uma força constante aplicada sobre ele. Isto declara que a aceleração aplicada sobre uma massa inercial seria a mesma que uma aceleração gravitacional aplicada à uma massa inercial (SCHUTZ, 1973).

Como não há mais um espaço-tempo plano, como sugeria a Relatividade Especial, é preciso definir qual é a menor distância entre dois pontos em um espaço-tempo curvo.

Aquilo que representa o caminho com a menor distância dentre dois pontos é comumente denominado Geodésica, a qual pode ser utilizada para verificar os caminhos mais curtos possíveis em qualquer situação. Por este motivo, se pode verificar as geodésicas no entorno de uma singularidade (Buraco Negro), conforme o item 8.2.1 deste trabalho.

8.2.1 Solução de Schwarzschild

A solução de Schwarzschild procura descrever como uma certa massa pode deformar o espaço, particularmente, uma massa grande o suficiente em um raio pequeno o suficiente para gerar uma singularidade.

Para descrever esta situação, é tomado que a quantidade conservada do espaço-tempo de Minkowski é dada por (8).

$$ds^2 = -dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2 \quad (8)$$

Assim, se pode alterar esta métrica para um sistema esférico de coordenadas estáticas, encontrando (9).

$$ds^2 = -dt^2 + dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \text{sen}^2 \theta d\varphi^2 \quad (9)$$

Isto se torna possível desde que os coeficientes nos primeiros dois primeiros termos permitam a curvatura nesta geometria, já que está sendo discutida a RG. Por intermédio de uma matemática exaustiva, a métrica anteriormente descrita torna-se

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2M}{r}\right) dt^2 + \frac{1}{1 - \frac{2M}{r}} dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \text{sen}^2 \theta d\varphi^2 \quad (10)$$

Que é uma métrica de Schwarzschild. Assumindo que $\theta = \pi/2$ e $t = 0$ para uma solução estática bidimensional, a equação (10) pode ser descrita como (11).

$$ds^2 = \frac{1}{1 - \frac{2M}{r}} dr^2 + r^2 d\varphi^2 \quad (11)$$

Em coordenadas cilíndricas, ds se comporta de maneira que $ds^2 = dz^2 + dr^2 + d\varphi^2$, onde $z = z(r)$, então obtém-se (12).

$$ds^2 = \left(\frac{dz}{dr}\right)^2 dr^2 + dr^2 + r^2 d\varphi^2 = \left[1 + \left(\frac{dz}{dr}\right)^2\right] dr^2 + r^2 d\varphi^2 \quad (12)$$

Tal qual, quando comparada com (11), pode ser descrita como

$$\left[1 + \left(\frac{dz}{dr}\right)^2\right] dr^2 + r^2 d\varphi^2 = \left(\frac{1}{1 - \frac{2M}{r}} dr^2 + r^2 d\varphi^2\right) \quad (13)$$

Portanto, a função de z que varia com r é descrita da forma (14).

$$\frac{dz}{dr} = \sqrt{\frac{1}{\frac{r}{2M} - 1}} \rightarrow \int dz = \int \sqrt{\frac{1}{\frac{r}{2M} - 1}} dr \rightarrow z = \frac{4M}{\sqrt{\frac{r}{2M} - 1}} \quad (14)$$

A relação 14 pode ser representada graficamente pelas figuras 13 e 14.

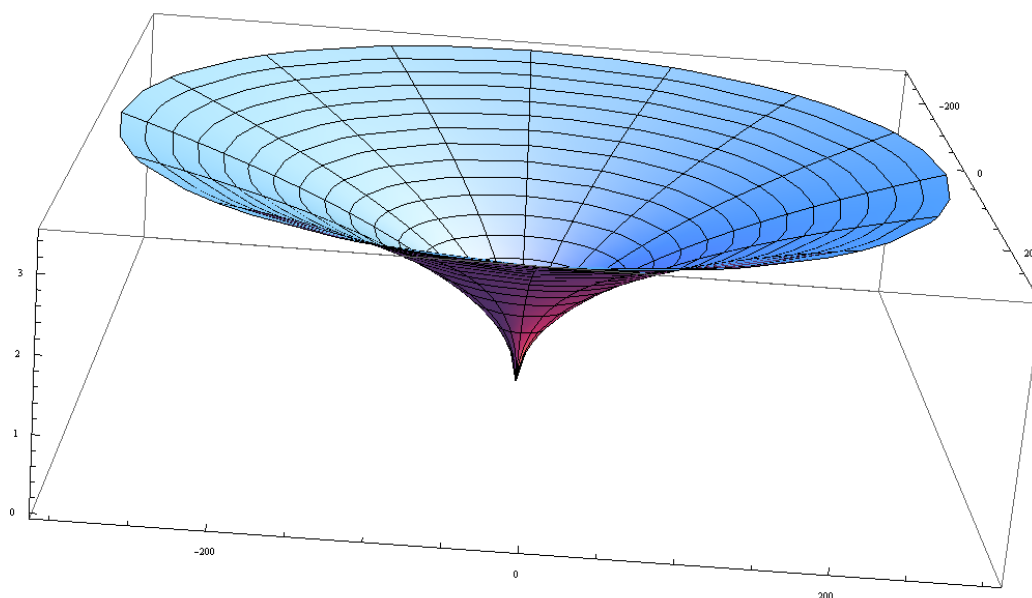


Figura 13 - Respectiva solução de Schwarzschild para $0 < z < 35$.

Fonte: Autoria própria.

Associando $z = \pm z(r)$, se pode identificar a suposta conexão entre duas quantidades de espaço-tempo por intermédio de uma singularidade.

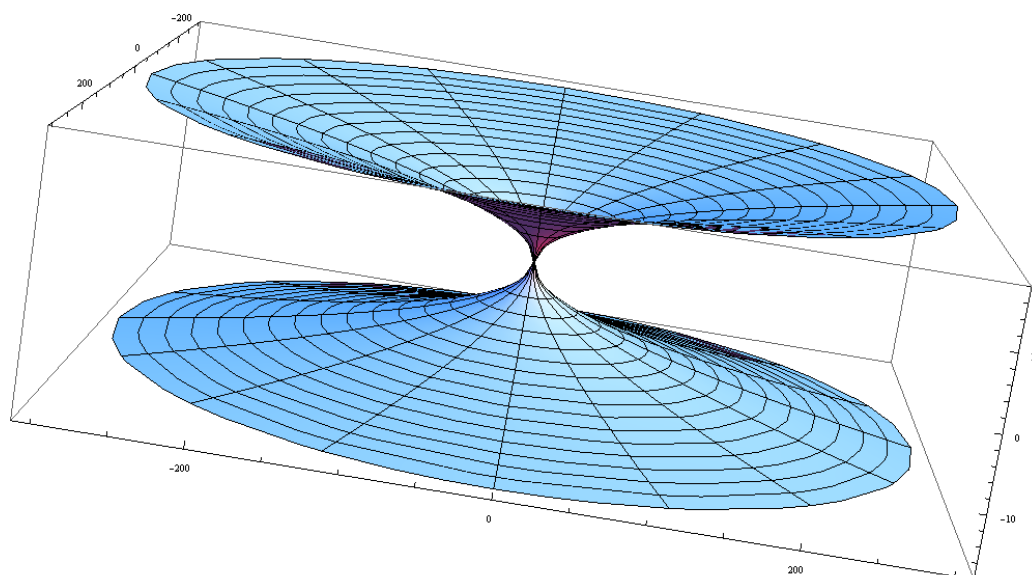


Figura 14 - Respectiva solução de Schwarzschild para $-35 < z < 35$.

Fonte: Autoria própria.

Desta maneira, se verifica uma grande utilidade deste ferramental que permitiu a compreensão de determinadas singularidades, como o buraco negro, muito antes de sua observação.

Da mesma maneira que permite descrever deformações no espaço-tempo, a RG também possibilita a solução de paradoxos que não podem ser resolvidos na RR.

Após esta breve introdução às Relatividades Restrita e Geral, se descreve melhor alguns princípios cosmológicos presentes no item a seguir.

8.3 PRINCÍPIOS COSMOLÓGICOS

A cosmologia, como anteriormente discriminado, se refere à estrutura do nosso Universo, da geometria, da expansão e da formação daquilo que conhecemos. Para compreender tantos aspectos, além da RR e da RG, é preciso compreender aspectos observacionais, retomar conceitos da Termodinâmica e procurar compreender o que ocorreu no Universo primordial.

Desta maneira, será apresentado o quadro 3, que descreve alguns fatos altamente relevantes para a Cosmologia, em ordem cronológica e modificado de Lima (2008).

Quadro 3 - Fatos altamente relevantes para a Cosmologia e seu desenvolvimento.

Ano	Autor	Fato
1838	Bessel	Introduz o método da paralaxe trigonométrica para medir a distância às estrelas
1854	Riemann	Sugere que a física deve apontar a geometria do espaço em que vivemos
1859	Kirchhoff	Descobre que o espectro de luz das estrelas é uma assinatura de sua composição química
1907	Rutherford Boltwood	Estabelecem a idade da Terra da ordem de bilhões de anos
1912	Slipher	Sugere que as nebulosas espirais e algumas elípticas se afastavam de nós a grandes velocidades
1915	Einstein	Publica sua teoria relativista do campo gravitacional à Academia Prussiana de Ciências intitulada "Os Fundamentos da Teoria da Relatividade Geral"
1915	Slipher	Mostra que 11 das 15 nebulosas observadas apresentam afastamento relativo
1917	Einstein	Propõe seu modelo de Universo estático com constante cosmológica
1918	Shapley	Afirma que a Via Láctea tem forma de um disco de diâmetro 300.000 anos-luz, espessura 10.000 anos-luz e o sistema solar está a uma distância de 60.000 anos-luz do centro

1922	Friedmann	Obtém soluções das equações de Einstein para Universos em expansão espacialmente homogêneos e isotrópicos, sem constante cosmológica
1924	Hubble	Primeiras evidências da homogeneidade e isotropia do Universo
1927	Lemaître	Advoga à ideia do núcleo primordial que explodira, dando origem à expansão
1929	Hubble	Introduz a constante de Hubble
1933	Zwicky	Introduz a ideia de Matéria Escura
1934	Tolman	Mostra que a radiação de corpo negro num Universo em expansão é resfriada mantendo-se porém sua distribuição térmica
1948	Gamow Alpher Herman	Descrevem que o Universo em expansão pode explicar a abundância de H e He no Universo. Preveem a existência de uma radiação isotrópica com espectro de um corpo negro
1965	Penzias Wilson	Descobrem a Radiação Cósmica de Fundo em Micro-ondas (RCFM) e receberam prêmio Nobel de Física em 1978 por este fato
1981	Guth	Postula que, em sua fase inicial, o Universo havia passado pelo período da Inflação
1989	NASA	Confirma a isotropia da RCFM com temperatura 2,725 K e seu espectro de corpo negro
1990s	Diversos	Medidas precisas da RCFM indicam que o Universo é espacialmente plano

1998	<i>Supernova Cosmology Project</i> e <i>High-z Supernova Search Team</i>	Descobrem os primeiros indicativos da aceleração da expansão do Universo
2000	-----	Observações da anisotropia do Universo na RCFM mostram que sua curvatura é pequena, sendo especialmente plano para todas as finalidades práticas
2008	Large Hadron Collider (LHC)	Entra em operação e encontra o Bóson de Higgs em 4 de Julho de 2012
2016	Laser Interferometer Gravitational-Wave Observer (LIGO)	Encontra as primeiras ondas gravitacionais, que comprovam a teoria de Einstein

Fonte: Adaptado de Lima 2008.

Seguindo esta ordem cronológica, os próximos itens a serem abordados são a paralaxe trigonométrica, espectros estelares e o *Redshift* (8.3.1) e homogeneidade, isotropia e a teoria do início do Universo (8.3.2)

8.3.1 A paralaxe trigonométrica, espectros estelares e o *Redshift*

Primeiramente, a paralaxe trigonométrica se baseia no movimento da Terra ao redor do Sol, que gera uma distância grande o suficiente para que uma estrela distante mude sua posição no céu. Comumente, a medição da distância da Terra até uma Estrela distante ocorre em seis meses, conforme a figura 15.

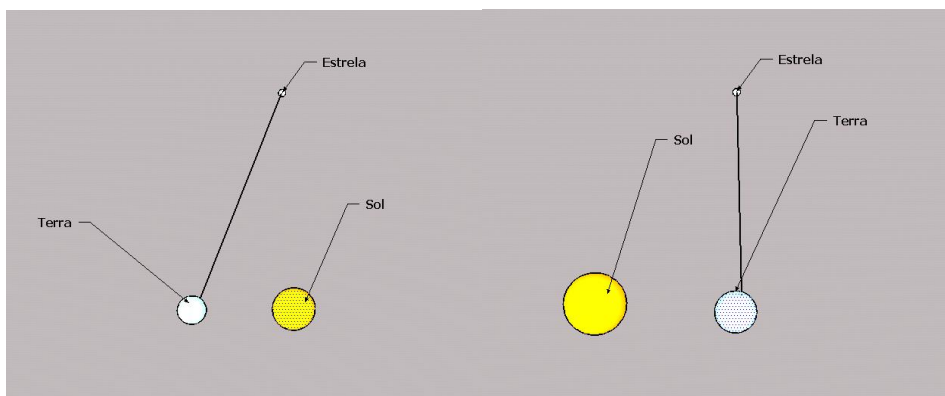


Figura 15 - Simulação de intervalo de seis meses de observação de uma estrela

Fonte: Autoria própria.

Sabendo a distância da Terra até o Sol e calculando o ângulo de observação formado pela triangulação na estrela, é possível determinar a distância até a estrela por intermédio da equação $d = \frac{1}{\theta}$. Contudo, Kirchhoff, em 1859, sugeriu que, na observação destas estrelas, havia algo escondido em seu espectro e esta suspeita levou ao encontro da cosmologia e da mecânica quântica, que seria estabelecida há mais de meio século a posteriori.

Neste contexto, tudo teve início com as linhas espectrais que foram descobertas com o uso de prismas no século XIX por Henry Rowland, professor da *Johns Hopkins University*. Assim como foram necessários diversos pesquisadores como Lyman, Balmer, Paschen, Brackett, Rydeberg e Pfund para compreender as séries de linhas espectrais do hidrogênio e diversos outros grandes nomes da física que desenvolveram a Mecânica Quântica que explica estes fenômenos (THORNTON; REX, 2013). Contudo, o real motivo das diferentes linhas espectrais para diferentes elementos não será discutido neste trabalho, mas sim seus efeitos.

Com a ajuda de Fraunhofer e de León Foucault, Kirchhoff comparou o espectro de uma lâmpada de sódio e do espectro emitido pelo Sol, concluindo que deveria haver sódio na superfície da respectiva estrela. Esta conclusão foi tomada segundo a comparação das linhas espectrais obtidas experimentalmente, conforme indica a figura 16.

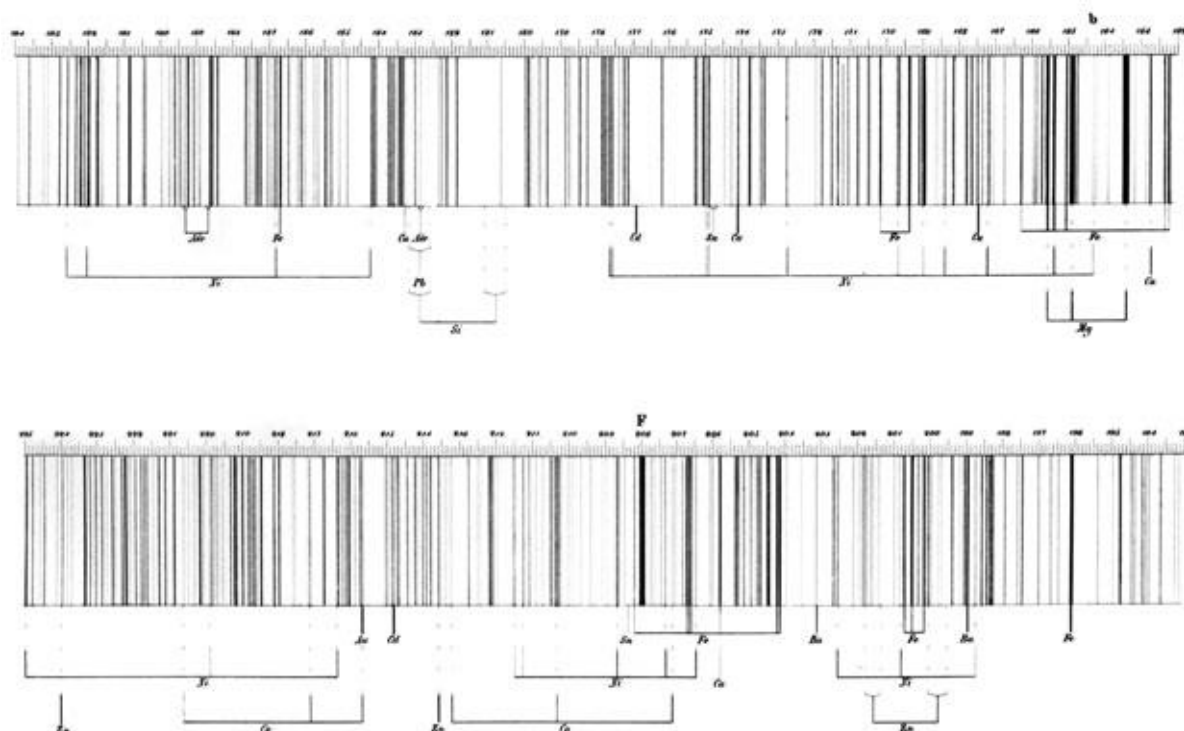


Figura 16 - Linhas espectrais do Sol obtidas experimentalmente por Kirchhoff

Fonte: Royal Society of Chemistry (2016).

Muitos outros experimentos foram realizados por Kirchhoff, que encontraram a presença de ferro, cálcio, magnésio, níquel, cromo e, provavelmente, cobalto, bário, cobre e zinco na superfície solar (LONGAIR, 2013).

Entretanto, anos depois, quando os telescópios modernos foram apontados para as estrelas longínquas, se verificou que as linhas espectrais estavam deslocadas para a direita ou para a esquerda, representando um desvio para o vermelho (*Redshift*) ou um desvio para o azul (*Blueshift*), por intermédio do efeito Doppler (ROBERT, 2000). Foi assim que Vesto Slipher e Edwin Hubble conseguiam observar se uma estrela (ou aglomerado delas) estava se afastando ou se aproximando do observador (a Terra).

Sabe-se que, se a fonte se aproxima do observador com uma certa frequência ω , a mesma é captada pelo observador com uma frequência maior $\omega' > \omega$, é possível compreender que algo muito similar ocorre para com as linhas espectrais. Sendo assim, se as linhas estiverem voltadas para o azul (maior frequência), a fonte estaria se aproximando, enquanto que, para o vermelho (menor frequência), a fonte estaria se afastando, conforme a figura 17.



Figura 17 - Relação entre um espectro em repouso, se distanciando e se aproximando do observador, respectivamente

Fonte: Adaptado de Cool Cosmos (2016).

Com o uso destas linhas espectrais desviando para o vermelho, Slipher e Hubble observaram, que todas as estrelas e aglomerados observados, à uma distância mínima, estavam se afastando com velocidade proporcional à sua distância em relação ao observador, identificando aquilo que seria denominada a Lei de Hubble conforme a figura 18.



Figura 18 - Simulação de velocidades v de estrelas distantes de 1, 2, 3 e 4 unidades de distância, respectivamente

Fonte: Autoria própria.

Ainda existiam grandes questões acerca do Universo, se este seria realmente homogêneo e isotrópico, como sugeriu Friedman em 1922. Tal discussão é realizada no item 8.3.2 deste trabalho.

8.3.2 A homogeneidade, isotropia e a teoria do início do Universo

Nicolau Copérnico, no século XV, sugeriu que a terra não ocupava um local especial no Universo e, portanto, não era o centro deste. Esta ideia foi tomada, anos depois, por diversos cosmólogos como sendo o Princípio Cosmológico da Cosmologia Moderna. Este princípio descreve que nenhum observador é privilegiado, ou seja, não existe uma posição observacional em todo o Universo que possua características privilegiadas às outras posições.

Duas consequências imediatas desta afirmação são, justamente, a isotropia e a homogeneidade. A homogeneidade pode ser definida de modo a explicar que, independentemente de onde se observa, o Universo parece igual e a isotropia define que o Universo é igual em todas as direções (LIDDLE, 2003).

Foi justamente isto que foi verificado quando Penzias e Wilson observaram o espectro de RCFM. Conforme discurso de nomeação do Prêmio Nobel de Física de Penzias abaixo.

Finalmente, os anos 60 viram um interesse ressurgindo da ideia de um estado pré-estrelar, ao mesmo tempo em que um suporte observacional decisivo foi dado ao Universo "Big Bang", por intermédio da descoberta da RCFM e sua identificação como uma radiação relíquia da bola de fogo inicial (PENZIAS, 1978, p.445).

Uma simulação realizada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) procura demonstrar como Penzias e Wilson teriam observado todo o céu e como se observa nos dias atuais, conforme a figura 19.

Estas aferições, utilizando as RCFM, permitiram verificar a temperatura atual correspondente à radiação presente no Universo, sendo esta identificada como homogênea e isotrópica, conforme o modelo apresentado por Friedman no início do século XX. Além disto, conforme apontado por Penzias, estas observações permitem um aprofundamento acerca da Teoria do Big Bang proposta inicialmente por Lemaître (LIMA, 2008).

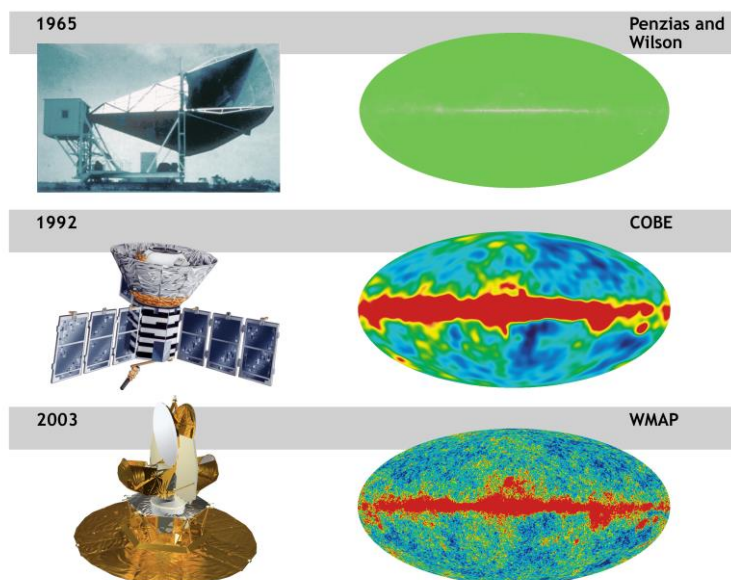


Figura 19 - Simulação do céu que poderia ter sido observado por Penzias e Wilson em 1965 e as últimas observações realizadas

Fonte: National Aeronautics and Space Administration (2016).

Após a confirmação do Princípio Cosmológico da isotropia e homogeneidade do Universo, o modelo de Lemaître tomou força com a obtenção do modelo cosmológico não estático de Friedman.

Então, após Lemaître concluir que a massa do Universo permanece constante durante toda sua existência e que as velocidades retroativas das nebulosas extragalácticas são consequência da expansão do Universo (LEMAÎTRE, 1931) em seu trabalho de 1927, as junções de suas ideias com a confirmação experimental de Edwin Hubble ofereceram espaço para que George Gamow desenvolvesse sua teoria.

Gamow, descreve em breves palavras que a diversidade de elementos encontrados na natureza é apenas uma consequência de um processo que ocorreu por uma rápida expansão e resfriamento de uma matéria primordial (ALPHER; BETHE; GAMOW, 1948). Esta matéria primordial então seria referida àquilo que hoje denomina-se a Teoria do Big Bang.

Entretanto, algo ainda era necessário para explicar esta expansão e, conseqüentemente, um resfriamento deste universo. Outra grande questão surgiu no final dos anos 70 com Alan H. Guth descrevendo os problemas da planaridade e do horizonte, conforme presente no trecho traduzido que segue.

O modelo padrão da cosmologia baseada no Big Bang quente requer condições iniciais que são problemáticas de duas maneiras: (1) o Universo jovem é assumido como altamente homogêneo, tomado pelo fato que regiões separadas estavam causalmente desconectadas (problema do horizonte); e (2) o valor inicial da constante de Hubble deve possuir uma sintonia fina com acurácia extraordinária para produzir um Universo plano (ex: próximo à densidade crítica de massa) do modo que observamos hoje (problema da planaridade) (GUTH, 1981, p.1).

Para resolver tais problemas, Guth ainda propõe que, para o modelo padrão da cosmologia baseada no Big Bang quente, é necessário que haja um período muito curto de expansão altamente acelerada logo após a "grande explosão", conforme representado na figura 20.

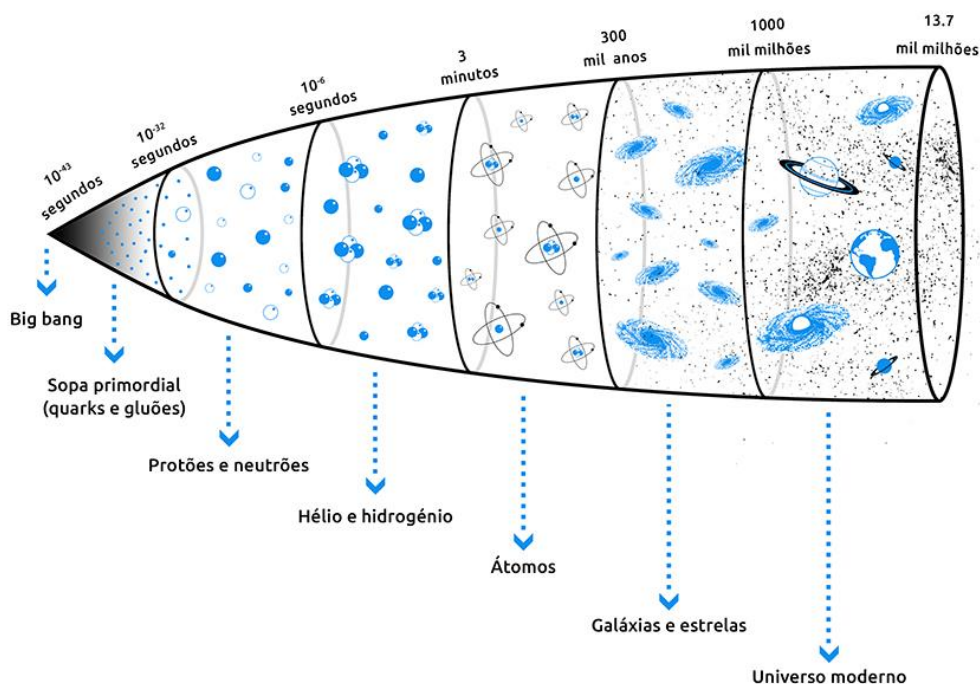


Figura 20 - Big Bang e o desenvolvimento do Universo.

Fonte: Universidade de Lisboa (2016).

F. Zwicky, em seu trabalho denominado *Die Rotverschiebung von Extragalaktischen Nebeln* publicado em 1933, desenvolveu uma teoria em que haveria muito mais matéria escondida no Universo do que matéria ordinária. A conclusão em que chegou, é que “Se isto fosse confirmado, nós teríamos o impressionante resultado

de que a matéria escura está presente em quantidade muito maior que a matéria luminosa” (ZWICKY, 2009).

Impressionado com sua conclusão, Zwicky mal sabia que previa diversas pesquisas atuais que ainda procuram detectar diretamente esta Matéria Escura (DM).

Além desta grande novidade, no final dos anos 90, *Supernova Cosmology Project* e *High-z Supernova Search Team* determinam experimentalmente que o Universo não está somente se expandindo, mas se expandindo aceleradamente e isto abriu caminho para uma outra quantidade presente no Universo que ficou conhecida como Energia Escura (DE).

Dados recentes da *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* (WMAP-NASA) revelam que conhecemos apenas 4,6% da composição do Universo, conforme presente no gráfico 1.

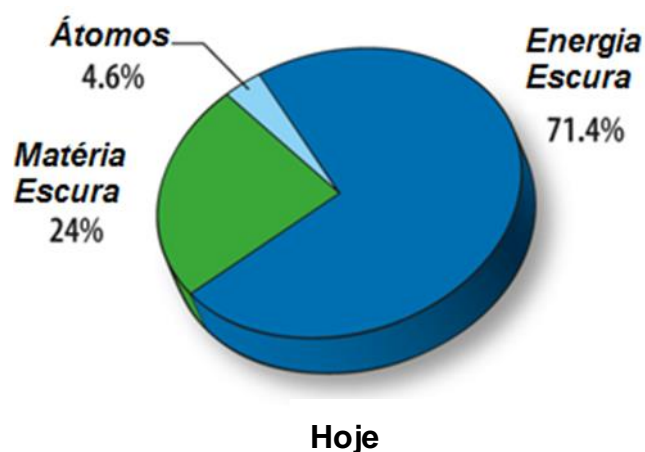


Gráfico 1 - Composição atualmente conhecida do Universo.

Fonte: Modificado de National Aeronautics and Space Administration² (2016).

Desta maneira, se pode desenvolver uma aula fundamentada nos tópicos de Cosmologia, cuja aplicação pode ser verificada no item que segue.

9 A APLICAÇÃO

A aplicação do material desenvolvido se deu durante os dias 19 e 20 de setembro de 2016, das 14:40 h às 16:20 h, nas aulas do Professor Mestre Cristóvão Renato Moraes Rincoski de Física 8 do Ensino Médio Técnico da UTFPR. Esta aplicação foi realizada pelo autor deste trabalho, buscando seguir os planos de aula presentes nos apêndices A e B e os slides das aulas no apêndice C.

O Professor Rincoski esteve presente, assim como a assistente de áudio Andressa Flores Santos, encarregada de realizar a gravação do áudio das aulas.

Os próximos dois subitens se referem as aplicações dos planos de aula na turma um e na turma dois, respectivamente.

9.1 APLICAÇÃO DA AULA NA TURMA 1

A aplicação do dia 19 de setembro de 2016 contou com 15 estudantes do sexo masculino e 5 do sexo feminino do curso de Técnico Integrado em Mecânica. A respectiva aula foi iniciada com a chamada realizada pelo professor regente, seguida pela apresentação do autor.

A aula iniciou com a apresentação do autor e do trabalho a ser realizado, deixando claro que ocorreria a gravação do áudio. Inicialmente, os discentes se apresentavam receptivos, com exceção de um aluno que estava distraído com o celular.

O conceito de geometria foi questionado, assim como os de ponto, reta, área, volume e hipervolume. As respostas não foram claras e levaram o professor a recapitular o real significado destes itens.

Abordou-se o personagem de Euclides e algumas de suas contribuições, onde os estudantes confirmaram lembrar de várias contribuições deste matemático.

O conceito de quantidade conservada de Euclides (comprimento) foi exemplificado com uma régua de 30 cm, mostrando que, independentemente da velocidade e aceleração, em uma geometria euclidiana, o comprimento da régua sempre será constante. Assim como a quantidade conservada nas transformações de Lorentz, representada pelo espaço e pelo tempo segundo a métrica de Minkowski.

Assim, o primeiro experimento foi aplicado, visando identificar a planaridade ou não de uma geometria e as conclusões passíveis de serem realizadas com este experimento.

A turma foi dividida em grupos de três alunos, os quais receberam uma bexiga, régua e transferidor, e o decorrer do experimento foi descrito. O desenvolvimento deste experimento contou com a aferição dos ângulos internos de um triângulo desenhado na bexiga vazia e com a medição dos ângulos internos do mesmo triângulo na bexiga cheia. As somas dos ângulos internos dos triângulos desenhados nas bexigas vazias, dos grupos presentes, resultaram na tabela 2.

Tabela 2 – Soma dos ângulos internos dos triângulos desenhados pelos alunos nas bexigas vazias.

Grupos	1	2	3	4	5	6	7	Média
Soma dos ângulos internos do triângulo	180°	184°	185°	182°	170°	179°	170°	180°

Fonte: Autoria própria.

Foi questionado o motivo dos resultados estarem próximos a 180° e todos responderam que a soma dos ângulos internos de um triângulo qualquer é sempre igual a 180°.

Sendo assim, foi pedido que todos os grupos enchessem suas bexigas e realizassem o experimento novamente, resultando na tabela 3.

Tabela 3 – Soma dos ângulos internos dos triângulos desenhados pelos alunos nas bexigas vazias, que agora foram enchidas (deformadas).

Grupos	1	2	3	4	5	6	7	Média
Soma dos ângulos internos do triângulo	200°	240°	210°	205°	215°	190°	183°	206°

Fonte: Autoria própria.

Após a realização de que os ângulos internos não somavam mais 180°, alguns alunos expressaram indignação e confusão. Esta confusão permitiu o início da discussão acerca do motivo desta diferença, explorando a geometria euclidiana e a geometria pseudo-euclidiana.

Uma questão encontrada na internet favoreceu a discussão sobre o que é uma reta em diferentes geometrias, afirmando a compreensão de uma geodésica.

A segunda aula foi iniciada com questionamentos acerca do início do Universo e sua estrutura por intermédio de teorias conhecidas do início do Universo. Algumas destas teorias expostas foram o Big Bang, Criacionismo e Flutuações Quânticas.

Assim, se questionou o início do Universo segundo a Teoria do Big Bang, quando um aluno realizou a seguinte afirmação "... um pontinho de massa máxima, de infinita massa que explodiu. Sei lá".

Voltou-se a discutir o significado de ponto, enfatizando sua dimensão nula e grande parte dos estudantes demonstrou estranhamento. Foi discutida a geração do tecido espaço tempo no instante deste Big Bang, formando as dimensões espaciais e a dimensão temporal, onde tudo aquilo que conhecemos está presente.

A aula se encaminhou pelo questionamento de onde este pontinho estava, gerando uma breve discussão entre dois alunos, onde o primeiro afirmou "... estava no espaço!" e o segundo retrucou "... se não tinha espaço, não tinha nada!", possibilitando uma breve discussão acerca da homogeneidade e isotropia do Universo.

Estes aspectos levaram o discente a apresentar rapidamente alguns momentos da evolução do Universo por meio do site *A História do Universo em 13 Momentos*. O momento do Big Bang foi enfatizado, seguido do momento da inflação que contou com a afirmação acerca da planaridade quadridimensional do Universo atual.

O problema da planaridade do Universo identificou que o Universo não era necessariamente plano em seu início, porém, se fosse, apenas uma aceleração muito grande poderia deixá-lo plano como é hoje. Para esta explicação, foi utilizada uma folha de papel amassada e uma força foi aplicada em sentido radial ao seu centro de massa. Os alunos não demonstraram dificuldades na compreensão deste momento do desenvolvimento do Universo.

Para explorar o *Redshift*, foi demonstrado um vídeo curto que continha as linhas espectrais de elementos como o hidrogênio, hélio e mercúrio, descrevendo como é possível realizar análises espectrométricas e identificar a presença ou ausência de determinados elementos em corpos celestes.

Foram expostas duas possibilidades de alterações espectrais geradas pelo *Blueshift* e pelo *Redshift* em análises espectrométricas, ressaltando a importância do *Redshift* no descobrimento da Lei de Hubble de Vesto Slipher e Edwin Hubble.

A Lei de Hubble foi exemplificada por intermédio de um experimento qualitativo envolvendo bexigas. Os alunos se reuniram novamente em grupos de três,

desenharam diversos pontos na superfície destas bexigas e observaram o comportamento destes pontos enquanto a bexiga era enchida.

Os alunos chegaram à conclusão de que os pontos aumentavam de tamanho e se separavam de todos igualmente, demonstrando a Lei de Hubble e afirmando a isotropia do Universo.

Em seguida, os estudantes foram questionados sobre a possibilidade de algo viajar a velocidades superiores à velocidade da luz no vácuo. Para tanto, se utilizou um *laser point* no fundo da sala e se supôs que o quadro possuía o tamanho da lua e então o laser foi redirecionado de um lado da lua à outro com velocidade superior à c . Isto permitiu a discussão baseada na validade da Relatividade de Einstein, chegando na conclusão de que, na verdade, é a informação não pode se propagar em velocidade superior a c .

Por fim, se demonstrou o gráfico gerado pela WMAP, discutindo os conceitos de Energia Escura e Matéria Escura. Esta explicação contou com um experimento mental em que se imaginam apenas duas terras em todo o Universo. Então se admite que elas se atraem com força superior à força sugerida pelas equações de Einstein da Relatividade Geral, indicando a existência de uma matéria adicional neste meio (Matéria Escura). Além disto, se separar ambas a uma distância muito grande, elas deixarão de se atrair, mas, ao contrário, se repelirão, indicando a presença de uma Energia Escura.

Estes fenômenos estranhos permitiram a adição de um tempo adicional da aula direcionado a questionamentos e dúvidas existentes.

A primeira pergunta foi referente ao que realmente significa a Energia Escura e a resposta se baseou na própria definição, a qual se refere a uma energia capaz de fazer com que dois corpos, separados a uma distância suficientemente grande, ao invés de se atraírem, se repilam. Esta resposta fez com que um dos alunos realizasse a afirmação "... na verdade, não sabemos de nada...".

A próxima pergunta foi referente a possibilidade do centro de massa não estar dentro de um objeto analisado, a qual foi respondida rapidamente por intermédio do centro de massa de um anel, onde o centro de massa não está no interior ou na superfície do anel, mas no centro deste.

Foi questionado acerca da diferença de um Buraco de Minhoca e um Buraco Negro, sendo exemplificada por intermédio de desenhos no quadro, onde um Buraco

Negro gera um “rasgo” no tecido espaço-tempo e o Buraco de Minhoca interliga dois pontos espaço-temporais do Universo.

Tal pergunta levou um estudante a questionar a possibilidade de existir uma massa tão grande em um volume tão pequeno para gerar um Buraco Negro. A resposta se deu pela existência e colapso de duas estrelas de nêutrons.

A última pergunta se referiu a como é possível observar períodos anteriores à inflação, já que não existiam fótons. A resposta se referiu às ondas gravitacionais recentemente verificadas pelo LIGO nos Estados Unidos, sendo que estas sempre existiram no espaço-tempo.

A aula foi finalizada com o agradecimento do professor, pela oportunidade de aplicar os planos de aula nesta turma, ao Professor Rincoski e aos alunos.

A aula dois, realizada no dia 20 de setembro de 2016, foi desenvolvida em uma turma diferente da anterior, conforme segue no item 9.2.

9.2 APLICAÇÃO DA AULA NA TURMA 2

A aplicação do dia 20 de setembro de 2016 contou com 16 estudantes do sexo masculino e 10 do sexo feminino do curso de Técnico Integrado em Eletrônica. A respectiva aula foi iniciada com a chamada realizada pelo professor regente, seguida pela apresentação do autor.

A aula iniciou com a apresentação do autor e do trabalho a ser realizado, deixando claro que ocorreria a gravação do áudio. Inicialmente, os discentes se apresentavam receptivos, porém dispersos, demonstrando certa dificuldade de concentração.

O conceito de geometria foi questionado, assim como os de ponto, reta, área, volume e hipervolume. Os alunos não se lembravam ou não tinham domínio do assunto.

Abordou-se o personagem de Euclides e algumas de suas contribuições, onde os alunos não recordavam deste. A pergunta “O que é a geometria Euclidiana?” foi respondida com: “Quem é Euclides?”, por um estudante.

O conceito de quantidade conservada de Euclides (comprimento) foi exemplificado com uma régua de 30 cm, assim como a quantidade conservada nas

transformações de Lorentz, conforme anteriormente mencionado na aplicação da aula 1.

Aplicou-se o primeiro experimento, se obtendo a tabela 4. Durante este, vários alunos apresentaram dificuldades em manejar o transferidor.

Tabela 4 – Soma dos ângulos internos dos triângulos desenhados pelos alunos nas bexigas vazias.

Grupos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Soma dos ângulos internos do triângulo	185°	184°	188°	181°	177°	195°	190°	189°	175°	175°	184°

Fonte: Autoria própria.

Foi questionado o motivo dos resultados estarem próximos a 180° e todos responderam que a soma dos ângulos internos de um triângulo qualquer é sempre igual a 180°.

Sendo assim, foi pedido que todos os grupos enchessem suas bexigas e realizassem o experimento novamente, resultando na tabela 5.

Tabela 5 – Soma dos ângulos internos dos triângulos desenhados pelos alunos nas bexigas vazias, que agora foram enchidas (deformadas).

Grupos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Soma dos ângulos internos do triângulo	184°	180°	196°	182°	182°	185°	225°	205°	200°	198°	194°

Fonte: Autoria própria.

Os alunos obtiveram a mesma conclusão obtida na turma anterior, demonstrando certa confusão e não aceitação. Levando assim a uma discussão acerca do conceito da geometria Euclidiana e da geometria pseudo-Euclidiana.

Os discentes foram apresentados à mesma questão da internet e um dos estudantes expôs dificuldade de compreender o assunto através da afirmação "... é difícil assimilar, pois estamos vendo em um plano.", vez que a geometria da imagem não é euclidiana.

Então, foi realizado o questionamento referente à estrutura e início do Universo, onde as respostas foram “Ninguém sabe”, “Foi Deus que criou a luz”, “... tem uma tartaruga carregando o mundo.” e “O Big Bang”.

Assim, se questionou o início do Universo segundo a Teoria do Big Bang, quando as seguintes afirmações foram feitas “Não existia nada” e “...então duas partículas que não existiam bateram e BANG”.

Foi retomado o significado de ponto e a geração do tecido espaço-tempo para explicar o início do Universo e sua composição. Juntamente foi abordado o exemplo da folha de papel para elucidar a inflação ocorrida logo após o Big Bang.

Neste intermédio, um dos estudantes questionou se era possível viajar mais rápido que a luz. Para responder esta pergunta, foi realizada a demonstração do *laser point* e da Lua, conforme descrito na seção anterior.

Voltando aos slides, se apresentou rapidamente alguns momentos da evolução do Universo por meio do site *A História do Universo em 13 Momentos*. O momento do Big Bang foi enfatizado, seguido do momento da inflação que contou com a afirmação acerca da planaridade quadridimensional do Universo atual.

Para explorar o *Redshift*, foi demonstrado o vídeo acerca das linhas espectrais dos átomos, onde após a explicação deste, as dúvidas foram sanadas.

Foram expostas duas possibilidades de alterações espectrais geradas pelo *Blueshift* e pelo *Redshift* em análises espectrométricas, ressaltando a importância do *Redshift* no descobrimento da Lei de Hubble de Vesto Slipher e Edwin Hubble.

Para exemplificar a Lei de Hubble, foi utilizado novamente o experimento da separação dos pontos na superfície da bexiga. Alguns estudantes relataram que “Os pontos se afastam” e “Quanto mais longe, mais rápido...”, confirmando a analogia com a Lei de Hubble.

O gráfico gerado pela WMAP perpassou pelas discussões acerca da Matéria Escura e Energia Escura com o mesmo experimento mental das duas Terras.

Estes fenômenos estranhos permitiram a adição de um tempo adicional da aula direcionado a questionamentos e dúvidas existentes.

A primeira pergunta era se há algo sendo realizado para detectar a Matéria Escura. A resposta à esta pergunta contou com os detectores de neutrinos construídos ao redor do mundo que estão procurando identificar uma possível interação da Matéria Escura com a matéria ordinária. Um dos estudantes se mostrou

bastante indignado por não sermos capazes de compreender o que é a Matéria Escura e exclamou “O que você tá falando?!”.

A pergunta seguinte foi “Assim, se no começo do Universo existia um total de átomos de matéria e matéria escura, porque agora tem mais Matéria Escura?”. A resposta contou com um resumo sobre processos termodinâmicos irreversíveis que eventualmente ocorreram no desenvolvimento do Universo.

Então, outro aluno questionou “Entrando um pouco no assunto da gravidade, o Einstein tem a palavra final. Porque o cara acertou bastante coisa. Tem algo pra gente seguir ou a física chegou ao fim?”. A resposta contou com a desmitificação de Einstein, demonstrando suas teorias e as diversas contribuições que outros cientistas tiveram para que ele pudesse desenvolver suas pesquisas. Da mesma forma, diversos cientistas desenvolveram teorias bastante complexas sobre as teorias de Einstein, tais como Schwarzschild, Weinberg e Hawking.

Outro estudante questiona “...a ideia que você pode entrar em um Buraco Negro e sair em outra dimensão?” e a resposta retorna que não seria em outra dimensão, mas em outro Universo. Esta resposta foi seguida da questão “E esse Universo está no mesmo ponto que o nosso?” e a resposta foi de cunho filosófico, pois não há como saber.

A pergunta seguinte questiona se realmente existem Buracos Negros e é confirmada pela alusão ao Efeito Hawking.

A última pergunta foi “O que é e como foram formadas as ondas gravitacionais?”. A resposta foi extremamente sucinta por ser de cunho demasiado abstrato e procurou descrever a propagação destas e sua formação pela aceleração de corpos extremamente massivos.

A aula foi finalizada com o agradecimento do professor, pela oportunidade de aplicar os planos de aula nesta turma, ao Professor Rincoski e aos alunos.

Neste momento em que as aulas foram descritas e que foram adicionados comentários baseados na análise de conteúdo de Bardin (2009), as considerações finais do trabalho desenvolvido podem ser realizadas no item 10.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Estado da Arte de Ferreira (2002) permitiu verificar a escassez de publicações referentes ao Ensino de Cosmologia no Ensino Médio do Brasil. Por sua vez, também possibilitou encontrar os tópicos de Cosmologia Passíveis de serem aplicados neste trabalho.

Os respectivos tópicos foram fundamentais para elaborar os planos de aula e a revisão de Cosmologia presente no item 8. Os planos de aula contam com os Três Momentos Pedagógicos, com a Abordagem Histórico-Filosófica e com os tópicos de Cosmologia que se destacaram no Estado da Arte.

A metodologia de aplicação destes planos de aula foi desenvolvida de modo a suprir a pluralidade metodológica sugerida pelos documentos oficiais brasileiros, fazendo uso de atividades lúdicas, experimentos quantitativos, experimentos qualitativos e centrando a aula no aluno.

O método de análise serviu para recuperar a maior quantidade de informação possível das aplicações dos planos de aula e verificar pontos cruciais da aplicação que indicam obstáculos epistemológicos e indícios de ruptura destes.

A análise da aplicação dos planos de aula sugere alta participação dos alunos quando diversas metodologias são utilizadas em uma mesma aula.

As afirmações "... um pontinho de massa máxima, de infinita massa que explodiu. Sei lá.", "...então duas partículas que não existiam bateram e BANG" e "...a ideia que você pode entrar em um Buraco Negro e sair em outra dimensão?", enquanto era discutida a Teoria do Big Bang e Buracos Negros, apresentam indícios de obstáculos verbais, nos quais a palavra massa deve ser substituída por densidade de energia, o conceito de colisão pode ser substituído por flutuações quânticas e a palavra dimensão trocada por Universo.

A conversa entre os estudantes representada por duas afirmações: "... estava no espaço!" e "... se não tinha espaço, não tinha nada!", quando discutido onde o átomo primordial estava, representa um obstáculo de experiência primeira, seguido por uma tentativa de ruptura de obstáculo epistemológico por parte do segundo aluno.

A conclusão "... na verdade, não sabemos de nada...", tomada por um dos estudantes, apresenta um obstáculo da ciência do geral, pois aparentemente é mais simples generalizar conceitos muito complicados. Assim como a resposta "Ninguém sabe", presente no questionamento acerca do início do Universo.

Os questionamentos “Quem é Euclides?” e “O que você tá falando?!” realizados por alunos indicam, talvez, uma indisposição em participar da aula, ruptura de obstáculo de experiência primeira ou desconhecimento acerca do tema.

A dificuldade encontrada na afirmação “... é difícil assimilar, pois estamos vendo em um plano.”, descreve um obstáculo encontrado pelo próprio aluno, onde o nível de abstração necessário ainda não foi atingido ou os argumentos desenvolvidos não foram suficientes para superar os conhecimentos prévios.

A conclusão que “Os pontos se afastam” e “Quanto mais longe, mais rápido...”, quando discutida a Lei de Hubble, apresentam indícios de ruptura de obstáculo epistemológico, pois se faz clara a relação entre as frases ditas e a própria Lei de Hubble.

Sendo assim, o material desenvolvido apresentou todas as características indicadas no referencial teórico, acompanhou as metodologias de elaboração, aplicação e análise e indicou possíveis obstáculos epistemológicos e possíveis rupturas destes.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Ricardo R. **Tópicos de Astrofísica e Cosmologia**: uma aplicação de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. 2010. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-25012011-112911/>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

ALPHER, Ralph. A.; BETHE, Hans.; GAMOW, George. The Origin of Chemical Elements. **Physical Review**. EUA. v. 73. n. 7. 1948.

ALVES, Rubens. **Filosofia da ciência**: Introdução ao jogo e suas regras. São Paulo: Editora Brasiliense, 1981.

ANGOTTI, José. A. **Solução alternativa para a formação de professores de Ciências** - Um projeto educacional desenvolvido na Guiné Bissau. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

BACHELARD, Gastón. **A formação do espírito científico**: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Paris/FRA: Librairie Philosophique J. Vrin, 1938. Tradução: Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BAIRD, John R.; FENSHAM, Peter J. (Ed.). Teachers in Science Education. In: **Development and Dilemmas in Science Education**. Londres: Routledge Falmer, 1988.

BARBER, B. Resistance of Scientists to Scientific Discovery. **Science**. EUA. v. 134. 1961.

BARBOSA, E. F. **Instrumentos de Coleta de Dados em Projetos Educacionais**. Instituto de Pesquisas e Inovações Educacionais – EDUCATIVA, 1998.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2009.

BATISTA, Irinéia L. **A concepção física de espaço e o ensino de mecânica**. 1993. 198f. Dissertação de Mestrado (Instituto de Física) - Faculdade de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

BAZETTO, Maria C. Q.; BRETONES, Paulo S. A Cosmologia em Teses e Dissertações sobre Ensino de Astronomia no Brasil. Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, 1. **Atas**. Rio de Janeiro, 2011.

BERNARDES, Adriana O.; TERRA, Pâmela W. História da Astronomia no Ensino Médio: Discutindo a Cosmologia Grega Através do Modelo de Universo De Eudoxo. Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, 3. **Atas**. Rio de Janeiro, 2014.

BIENNIAL MEETING PHILOSOPHY OF SCIENCE, 4, 1974. Indiana, EUA. **Proceedings...** Indiana: University of Notre Dame, 1974. Disponível em: <<http://philsci.org/images/docs/PSA%201974%20South%20Bend.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2016.

BIEZUNER, R. J. Notas de Aula: **Geometria Riemanniana**. Departamento de Matemática – UFMG. Minas Gerais, 2016.

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/web/saeb/parametros-curriculares-nacionais>>. Acesso em: 08 mai 2016.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC). **Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (DCN-EB)**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=15548-d-c-n-educacao-basica-nova-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 08 mai 2016.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC). **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**. Brasília, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC). **PCN+ Ensino Médio: Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília, 2002.

CASTRO, Ruth S.; CARVALHO, Anna M. P. História da ciência: Investigando como usá-la num curso de segundo grau. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Santa Catarina, v.9, n.3, 1992.

CHENG, Ta-Pei. **A College Course on Relativity and Cosmology**. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 2015.

CONNELL, Simon. **The Galilean Transformation**. Johannesburg, 2006. Acesso em: 19 jun. 2016. Disponível em: <http://psi.phys.wits.ac.za/teaching/Connell/phys284/2005/lecture-01/lecture_01/node5.html>.

COOL COSMOS. **Cosmological Redshift**. [?]. 1 figura colorida. Disponível em: <http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/cosmic_reference/redshift.html>. Acesso em: 16 ago. 2016.

DELIZOICOV, Demétrio. **Concepção Problematizadora para o Ensino de Ciências na Educação Formal**. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

DELIZOICOV, Demétrio. Problemas e Problematizações. In: **Ensino de Física: Conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora**. Santa Catarina: EDITORA DA UFSC, 2005.

DUFFY, Andrew. **Spacelike, Timelike, Lightlike**. Boston, 1998. Acesso em: 19 jun. 2016. Disponível em: <http://physics.bu.edu/~duffy/ns547_spring10_notes07/Class07_Spacelike.pdf>.

FELD, Ramissés S. **Noções de astrofísica e cosmologia moderna nas aulas de física do ensino médio**: uma sequência didática a partir do Paradoxo de Olbers. 2014. 105f. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Física) – Departamento Acadêmico de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

FERREIRA, Norma S. A. As pesquisas denominadas 'Estado da Arte'. **Educação e Sociedade**. Campinas, v. 23, n. 79, ago 2002.

FLICK, U. **Uma introdução à pesquisa qualitativa**. São Paulo: Bookman, 2004.

GAGLIARDI, Raúl; GIORDAN, André. La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza de las ciencias. **Enseñansa de las Ciências**. Barcelona, v.4, n.3, 1986.

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS. **Why is the 'straight line' path across continent so curved?** [2012]. 1 figura colorida. Disponível em: <<http://gis.stackexchange.com/questions/6822/why-is-the-straight-line-path-across-continent-so-curved>>. Acesso em: 16 ago. 2016.

GIBRAN, Khalil. **O Profeta**. Porto Alegre: L&PM POCKET, 2015.

GOLDSTEIN, H.; POOLE, C.; SAFKO, J. **Classical Mechanics**. 3 ed. Ed. Addison Wesley, 2002.

GOMES, Henrique J. P.; OLIVEIRA, Odisséa B. Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomo. **Ciências & Cognição**. Rio de Janeiro, v. 12, dez. 2007.

GUERRA, Andreia; REIS, José C. Uma abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino em Física**. Rio de Janeiro, v.21, ago 2014.

GURGEL, Ivã; BAGDONAS, Alexandre; VELASQUEZ, Felipe; FABRÍCIO, Vitor; NORONHA, André. O Ensino sobre a Natureza da Ciência através de Tópicos de Cosmologia: Análise de uma Proposta Didática Utilizando Jogos. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 9. **Atas**. São Paulo, 2013.

GUTH, Alan H. The Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems. **Physics Review D**. EUA. v. 23. n. 2. 1981. Disponível em: <<http://journals.aps.org/prd/pdf/10.1103/PhysRevD.23.347>>. Acesso em 16 ago. 2016.

HENRIQUE, Alexandre B.; COLOMBO, Pedro D. J. Big Bang Brasil: uma peça teatral com abordagem histórico-filosófica para o ensino de cosmologia. Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, 1. **Atas**. Rio de Janeiro, 2011.

KATZ, Robert. **An introduction to the special theory of relativity**. Princeton: Van Nostrand momentum books, 1964.

LARSEN, Steen. Aspectos sociais e psicológicos das novas tecnologias educacionais. **European Conference on Computers in Education**. Lausanne: ECCE, 1988. Tradução: Jarbas Novelino Barato. São Paulo, 1998.

LEMAÎTRE, Abbé G. A Homogeneous Universe of Constant Mass and Increasing Radius accounting for the Radial Velocity of Extra-Galactic Nebulae. **Oxford Journals**. Oxford: Royal Astronomical Society. EUA, 1931. Disponível em: <<http://mnras.oxfordjournals.org/content/91/5/483.full.pdf>>. Acesso em 16 ago. 2016.

LEMOS, N. A. **Mecânica analítica**. 2 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2007.

LIDDLE, Andrew. **An Introduction to Modern Cosmology**. 2 ed. Inglaterra: WILEY, 2003.

LIMA, Marcelo C. **Notas de aula do minicurso "Cosmologia"**. Curso promovido pelo PPGF da Universidade Federal do Pará. Belém, 2008.

LONGAIR, Malcolm S. **The Cosmic Century: A History of Astrophysics and Cosmology**. Cambridge: University of Cambridge, 2013.

LOPES, Alice R. C. Bachelard: O filósofo da desilusão. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Santa Catarina, v.13, n.3, 1996.

MARTINS, Roberto A. Introdução. A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, Cibelle C. **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MATSAS, George. Introduction and conceptual aspects of general relativity. In: **Journeys into Theoretical Physics**, 2016, São Paulo. Disponível em: <<http://sictp2.ictp-saifr.org/wp-content/uploads/2016/07/INTRODUCTION-and-CONCEPTUAL-ASPECTS-of-GENERAL-RELATIVITY.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2016.

MATTHEWS, Michael R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Science & Education**. Tradução: Andrade, C.M., Caderno Catarinense de Ensino em Física, v.12, n.3, dez.1995.

MIT Open Course Ware. **Some Special Relativity Formulas**. Massachusetts, 2007. Acesso em: 19 jun. 2016. Disponível em: <http://ocw.mit.edu/high-school/physics/excitatory-topics-in-physics/lecture-notes-and-video-lectures/MITHFH_excitatory_topicssr.pdf>.

MOORE, Thomas. A. **A General Relativity Workbook**. University Science Books. California, 2013.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **CMB History**. [2016]. 1 figura colorida. Disponível em: <
<http://map.gsfc.nasa.gov/media/081031/index.html>>. Acesso em: 16 ago. 2016.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION¹. **Timeline of the Universe**. [2016]. 1 figura colorida. Disponível em: <
<http://wmap.gsfc.nasa.gov/media/060915/index.html>>. Acesso em: 16 ago. 2016.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION². **Universe Content -WMAP 9YR**. [2016]. 1 figura colorida. Disponível em: <
<http://wmap.gsfc.nasa.gov/media/121236/index.html>>. Acesso em: 16 ago. 2016.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION³. **Geometry of the Universe**. [2016]. 1 figura colorida. Disponível em: <
<http://wmap.gsfc.nasa.gov/media/990006/index.html>>. Acesso em: 16 ago. 2016.

PENZIAS, Arno A. The Origin of the Elements. In: NOBEL LECTURE, 1978, Stockholm. **Lecture...** Stockholm, Nobel Media AB, 2014. Disponível em: <
https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1978/penzias-lecture.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2016.

RINDLER, Wolfgang. **Essential Relativity: Special, General, and Cosmological**. New York: Springer New York, 1969.

ROBERT, Edward. **Cosmology: The Science of the Universe**. 2 ed. Reino Unido: Cambridge University Press, 2000.

ROSA, Carlos A. P. **História da ciência: Da antiguidade ao renascimento científico**. v.1. Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão, 2010.

ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. **Linhas espectrais de Kirchhoff**. [?]. 1 figura incolor. Disponível em: <
http://www.rsc.org/chemistryworld/sites/default/files/upload/0913CW-CLASSIC-KIT_Fig2_630.jpg>. Acesso em: 16 ago. 2016.

RUBAKOV, A. V. **Cosmology**. 2015. Disponível em: <arxiv.org/pdf/1504.03587>. Acesso em 30 mar. 2016.

SANTOS, Maria E. V. M dos. As concepções alternativas dos alunos à luz da epistemologia bachelardiana. In: **Mudança conceitual em sala de aula, um desafio pedagógico**. Lisboa/POR: Livros Horizonte, 1991.

SEFERIN, Ádila M. L.; ALVARENGA, Flávio G.; ABRÓZIO, Rosa M. Tópicos de Cosmologia no Ensino Médio: Uma Abordagem a Partir de Atividades Investigativas. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência, 10. **Atas**. São Paulo, 2015.

SHERRATT, E. J. History of science in the science curriculum: an historical perspective. **School Science Review**. Londres, v.64, n.227, 1982.

SCHUTZ, John W. **Foundations of Special Relativity**: Kinematic Axioms for Minkowski Space-Time. New York: Springer, 1973.

THORNTON, Stephen T.; REX, Andrew. **Modern Physics for scientists and engineers**. 4 ed. Boston: CENGAGE Learning, 2013.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA. **Espaço-Tempo de Minkowski**. Londrina, 2015. Acesso em: 19 jun. 2016. Disponível em: <<http://www.uel.br/pos/fisicaprofissional/pages/arquivos/Eletro/5Minko.pdf> >.

VALADARES, António C. S. **Concepções alternativas no ensino da física à luz da Filosofia da Ciência**. 1995. 821f. v.1. Tese de Doutorado (Ciências da Educação) - Universidade Aberta, Lisboa, 1995.

ZWICKY Fritz. The Redshift of Extragalactic Nebulae. **General Relativity and Gravitation**. EUA. v. 41. n. 1. 2009. Disponível em: <http://www.ymambrini.com/My_World/History_files/Zwicky.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2016.

APÊNDICE A - Plano de Aula 1

Professor:	Elberth Manfron Schiefer
Unidade:	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Turma:	1 e 2
Data:	19/09/2016 e 20/09/2016
Horário:	14:40 h às 15:50 h
Duração:	1 hora-aula

Tema: Geometria e Desenvolvimento do Universo					
Objetivos: Questionar o papel de uma geometria no cotidiano; Ilustrar aspectos da geometria euclidiana; Discutir as alterações geradas pelas transformações de Lorentz; Debater superficialmente as teorias do início do Universo; Reunir informações acerca da planaridade do Universo por intermédio de um experimento quantitativo.					
Conteúdos: Geometria Euclidiana; Coordenadas Cartesianas; Invariantes de Lorentz; Criação do Espaço-Tempo; Planaridade do Universo.					
Estruturação da aula: A aula inicia com um questionamento acerca do que é uma geometria e qual sua utilidade no cotidiano dos alunos, enfatizando o significado das dimensões por meio da figura 1.					
●	● —● →	↓ ● —● ↑ ● —●	↓ ● —● ↑ ● —● ↓ ● —● ↑	↓ ● —● ↑ ● —● ↓ ● —● ↑ ● —● ↓ ● —● ↑	X Y Z W ↓ ←
0	1	2	3	4	#Dim

Figura 1 - Dimensões
Fonte: DRAGALLUR. (2016).

Em seguida, se retoma os fundamentos da geometria Euclidiana, enfatizando seus postulados:

- Dados dois pontos distintos, há um único segmento de reta que os une.
- Um segmento de reta prolongado indefinidamente constrói uma reta.
- De um ponto qualquer e uma distância qualquer, se constrói uma circunferência de centro naquele ponto com raio igual à distância.
- Todos os ângulos retos são semelhantes.
- Se duas linhas atingem uma terceira linha de modo que a soma dos ângulos internos em um lado é menor que dois ângulos retos, então as duas linhas devem se cruzar se forem indefinidamente estendidas.

Discutir brevemente o papel das coordenadas Cartesianas no espaço Euclidiano e discutir o invariante de Euclides e de Lorentz, exemplificando a métrica de Minkowski por intermédio da figura 2.

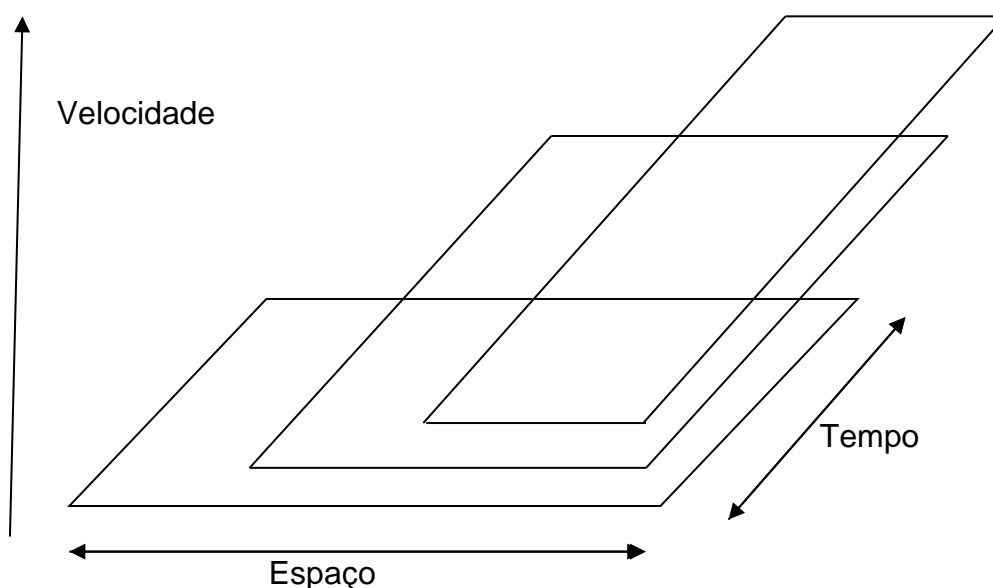


Figura 2 - Quantidade conservada no espaço-tempo da RR representada em duas dimensões

Fonte: Autoria própria.

Assim, se torna possível discutir as teorias de início do Universo conhecidas pelos alunos e tratar sobre a criação do espaço-tempo. Perpassando para o experimento da triangulação na bexiga, que se encontra ilustrado na figura 3.

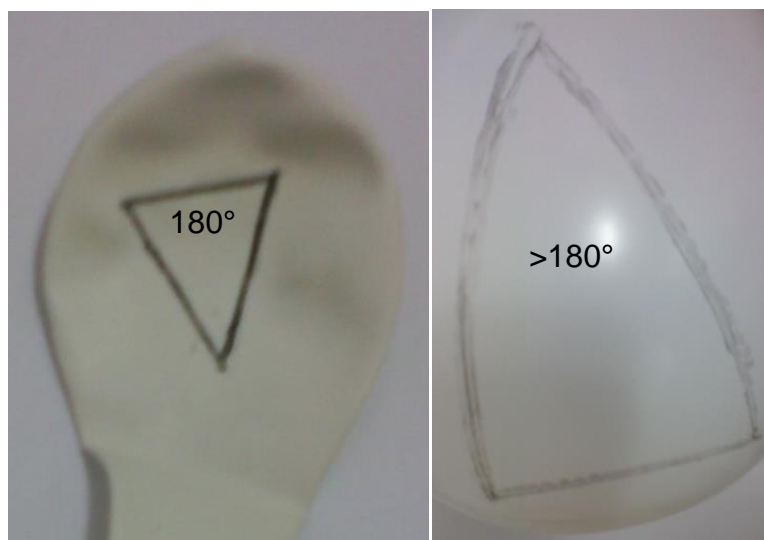



Figura 3 - Aumento da soma dos ângulos internos de um triângulo de uma geometria Euclidiana para um pseudo-Euclidiana
Fonte: Autoria própria.

Este experimento deve ser realizado em pequenos grupos de alunos que devem desenhar um triângulo na superfície da bexiga vazia e medir a soma dos ângulos internos de seu triângulo com um transferidor. A média da soma dos ângulos internos dos triângulos de todos os grupos deve permanecer próxima a 180° e deve ser realizada pelo professor. Então, os alunos devem encher as bexigas e realizar o procedimento novamente, o professor irá realizar a média e irá ficar explícito que esta não é mais uma geometria Euclidiana pois rompe mais de um postulada de Euclides.

Neste momento, se deve questionar qual seria o menor caminho entre os vértices do triângulo e demonstrar o conceito de geodésica por intermédio da pergunta traduzida que foi encontrada na internet e demonstrada na figura 4.

Qual o motivo da 'linha reta' pelos continentes ser tão curvada?

Este é o resultado do mapeamento de uma linha reta de um ponto nos EUA até a Polônia utilizando o *Distance Measurement Tool*.
 Também, aviões da Ásia para os EUA viajam quase sobre o Pólo Norte.



Por que este caminho é tão curvo? Eu concordo que isto é uma representação plana de uma esfera, então eu espero algum arco, mas eu não penso que a terra tenha toda esta curvatura.
 O que estou perdendo aqui?

Figura 4 - Questão encontrada na internet
Fonte: Geographic Information Systems (2016).

Por fim, é possível gerar uma discussão de como utilizar este conhecimento para saber se o Universo é plano, procurando definir o conceito de Geodésica.

Ambientes/recursos didáticos:

Esta aula requer computador e projetor para a projeção das imagens anteriormente dispostas, assim como bexigas, transferidores, réguas e canetas.

Referências:

DRAGALLUR. **Dimensions**. Disponível em: <<https://dragallur.wordpress.com/tag/imagining-dimensions/>>. Acesso em: 27 maio 2016.

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS. **Why is the 'straight line' path across continent so curved?** [2012]. 1 figura colorida. Disponível em: <<http://gis.stackexchange.com/questions/6822/why-is-the-straight-line-path-across-continent-so-curved>>. Acesso em: 16 ago. 2016.

SCIENTIA EST FACT. **Relatividade Especial Parte 10 -12**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=MKjSkyeq5h4>>. Acesso em: 27 maio 2016.

APÊNDICE B - Plano de Aula 2

Professor:	Elberth Manfron Schiefer
Unidade:	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Turma:	1 e 2
Data:	19/09/2016 e 20/09/2016
Horário:	15:30 h às 16:40 h
Duração:	1 hora-aula

Tema:

Do início do espaço-tempo ao infinito.

Objetivos:

Apontar as concepções do início dos tempos dos alunos; Descrever os estágios acelerados e desacelerados do Universo; Demonstrar os principais estágios de evolução do Universo; Comparar os períodos de tempo que distanciam as etapas de desenvolvimento do Universo; Analisar as Linhas espectrais e o efeito do *Redshift* por intermédio de um experimento qualitativo; Julgar a possibilidade de velocidades superiores a c e a existência de Matéria Escura e Energia Escura.

Conteúdos:

Inflação; Desenvolvimento do Universo; Linhas Espectrais; *Redshift*; Velocidades Superiores a c ; Matéria e Energia Escura.

Estruturação da aula:

A aula inicia com o questionamento:

- Qual o motivo do nosso Universo ser plano?

As possíveis respostas são:

- Ele sempre foi plano
- Ele passou a ser plano

Assim, foi utilizado o site intitulado A História do Universo em 13 Momentos, que separa claramente os momentos de maior interesse da evolução do Universo.

Em seguida, se questiona o que é a inflação e o motivo pela qual ela ocorreu, indicando a presença de uma gigantesca aceleração. Assim é possível questionar acerca dos efeitos de uma expansão acelerada para quem está na Terra.

Neste momento, pode aparecer a questão de como é possível determinar se o espaço realmente está em expansão acelerada. Para isto, se faz necessário visualizar e descrever o funcionamento das linhas espectrais de diferentes átomos e o efeito do *Redshift*, que podem ser demonstradas pelo vídeo "*Spectral Lines Demo*" no domínio <https://www.youtube.com/watch?v=2ZlhRChr_Bw> e pela figura 1.

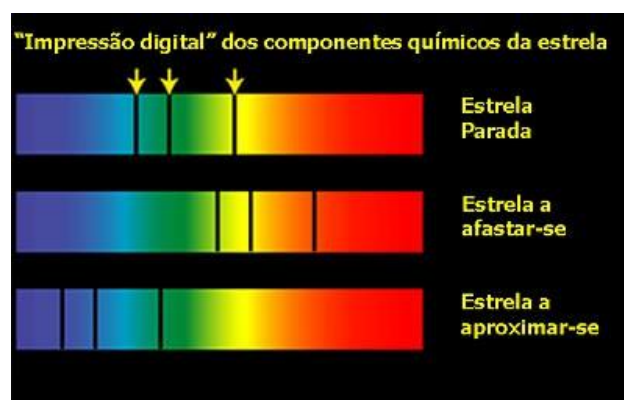


Figura 1 - Relação entre um espectro em repouso, se distanciando e se aproximando do observador, respectivamente

Fonte: Adaptado de Cool Cosmos (2016).

O enfoque desta aula estará direcionado a expansão do Universo, tal qual fará o uso de uma bexiga e diversos pontos feitos na bexiga com caneta para a demonstração da expansão do universo e a velocidade de separação entre as galáxias. Deve ser utilizada a bexiga com os pontos em todo seu contorno para demonstrar que os pontos não estão se afastando, mas que o espaço entre eles está aumentando, conforme a figura 2.



Figura 2 - Analogia ao aumento do tecido espaço-tempo entre as galáxias
Fonte: Autoria própria.

Nesta situação, se pode discutir que as galáxias se afastam com velocidade maior que a velocidade da luz sem infringir as Relatividades.

Por fim, é interessante ressaltar que dados recentes da *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* (WMAP-NASA) revelam que conhecemos apenas 4,6% da composição do Universo, conforme presente no gráfico 1.

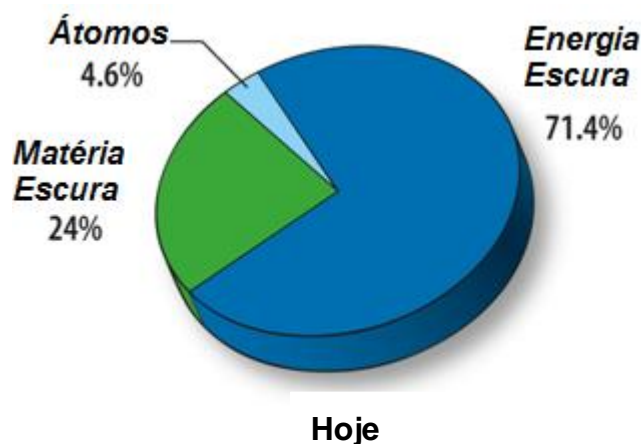


Gráfico 1 - Composição atualmente conhecida do Universo.

Fonte: Modificado de National Aeronautics and Space Administration² (2016).

Assim como discutir o que são a Matéria Escura, Energia Escura e os enormes esforços que estão sendo realizados para compreender melhor o que são. Para compreender melhor a ação da Matéria Escura e Energia Escura, se faz necessário um experimento mental. Pede-se inicialmente para que os alunos fechem os olhos e imaginem duas Terras em um Universo vazio, então relatar o efeito da Matéria Escura e da Energia Escura dependendo da separação destas Terras.

Ambientes/recursos didáticos:

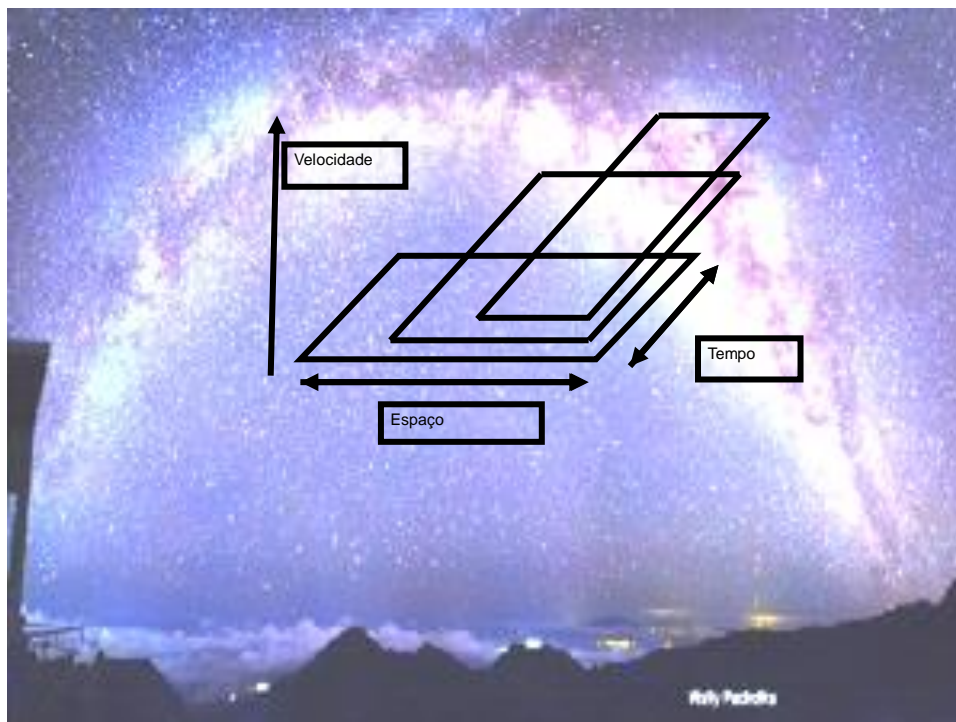
Esta aula requer computador e projetor para a projeção das imagens e vídeos anteriormente demonstrados, bexigas e botões.

Referências:

COOL COSMOS. **Cosmological Redshift**. [?]. 1 figura colorida. Disponível em: <
http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/cosmic_reference/redshift.html>. Acesso em: 16 ago. 2016.

FIRMINO, Teresa; MENDONÇA, Cátia. **A história do Universo em 13 momentos**. Disponível em: <<http://www.publico.pt/25anos/historia-do-universo-em-13-momentos>>. Acesso em: 27 maio 2016.

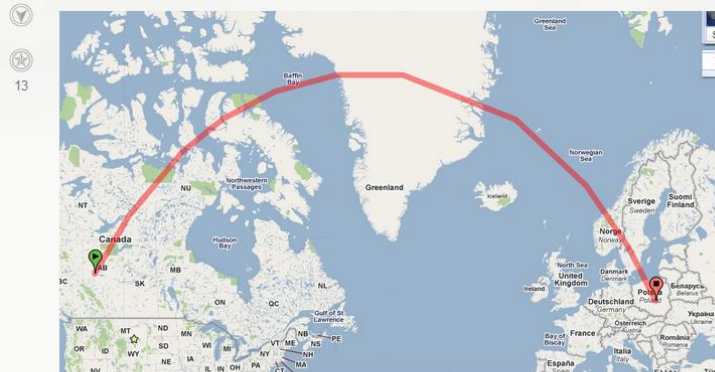
NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION². **Universe Content -WMAP 9YR**. [2016]. 1 figura colorida. Disponível em: <<http://wmap.gsfc.nasa.gov/media/121236/index.html>>. Acesso em: 16 ago. 2016.



Qual o motivo da 'linha reta' pelos continentes ser tão curvada?

Este é o resultado do mapeamento de uma linha reta de um ponto nos EUA até a Polônia utilizando o *Distance Measurement Tool*.

45 Também, aviões da Ásia para os EUA viajam quase sobre o Pólo Norte.



Por que este caminho é tão curvo? Eu concordo que isto é uma representação plana de uma esfera, então eu espero algum arco, mas eu não penso que a terra tenha toda esta curvatura.

O que estou perdendo aqui?

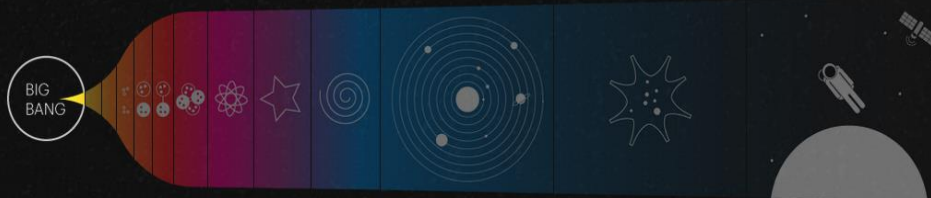
Rafael Padua

A história do Universo em 13 momentos

Por Teresa Firmino e Cátia Mendonça

Sabemos hoje que o Universo está em expansão. Que nasceu a partir de um momento zero e, desde aí, tem evoluído. A descoberta desta expansão, do final dos anos 1920, baseou-se em observações de que as galáxias se estavam a afastar umas das outras. Na realidade, é o espaço entre as galáxias que está a aumentar e, em consequência disso, as galáxias estão a afastar-se entre si.

Imaginemos um balão em cuja superfície, o tecido do espaço-tempo, pintámos vários pontos; à medida que o enchemos de ar, expandindo-o, o espaço entre os pontos vai aumentando. É isso que está a acontecer ao Universo. Escolhemos aqui alguns momentos da sua longa existência ou, por outras palavras, da história de tudo.



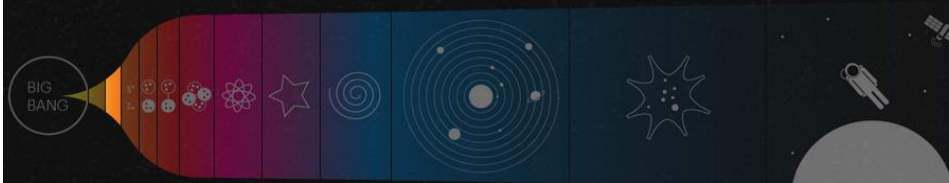
Momento 0 Big Bang

É o início do Universo, que começa com o Big Bang, uma grande "explosão" que dá origem ao espaço e ao tempo. É o início de tudo o que existe. E que surgiu de uma concentração inimaginável de energia. A física actual é incapaz de descrever as frações de segundo imediatamente seguintes ao Big Bang, quando o Universo era incrivelmente denso e quente.

A história do Universo em 13 momentos

Por *Teresa Firmino e Cátia Mendonça*

Sabemos hoje que o Universo está em expansão. Que nasceu a partir de um momento zero e, desde aí, tem evoluído. A descoberta desta expansão, do final dos anos 1920, baseou-se em observações de que as galáxias se estavam a afastar umas das outras. Na realidade, é o espaço entre as galáxias que está a aumentar e, em consequência disso, as galáxias estão a afastar-se entre si. Imaginemos um balão em cuja superfície, o tecido do espaço-tempo, pintámos vários pontos: à medida que o enchemos de ar, expandindo-o, o espaço entre os pontos vai aumentando. É isso que está a acontecer ao Universo. Escolhemos aqui alguns momentos da sua longa existência ou, por outras palavras, da história de tudo.



10^{-36} segundos Inflação cósmica

É o início do que se pensa ter sido a inflação, um crescimento brutal do Universo, que numa fracção de segundo cresceu enormemente. Esta expansão exponencial permite explicar por que é que o Universo que vemos hoje tem um padrão global homogéneo: há galáxias e espaços vazios, galáxias, espaços vazios... de uma maneira quase uniforme por todo o lado para onde quer que olhemos. Nesta altura do Universo, já um pouco menos quente, também a força nuclear forte pôde separar-se da força nuclear fraca e do electromagnetismo.

A história do Universo em 13 momentos

Por *Teresa Firmino e Cátia Mendonça*

Sabemos hoje que o Universo está em expansão. Que nasceu a partir de um momento zero e, desde aí, tem evoluído. A descoberta desta expansão, do final dos anos 1920, baseou-se em observações de que as galáxias se estavam a afastar umas das outras. Na realidade, é o espaço entre as galáxias que está a aumentar e, em consequência disso, as galáxias estão a afastar-se entre si. Imaginemos um balão em cuja superfície, o tecido do espaço-tempo, pintámos vários pontos: à medida que o enchemos de ar, expandindo-o, o espaço entre os pontos vai aumentando. É isso que está a acontecer ao Universo. Escolhemos aqui alguns momentos da sua longa existência ou, por outras palavras, da história de tudo.



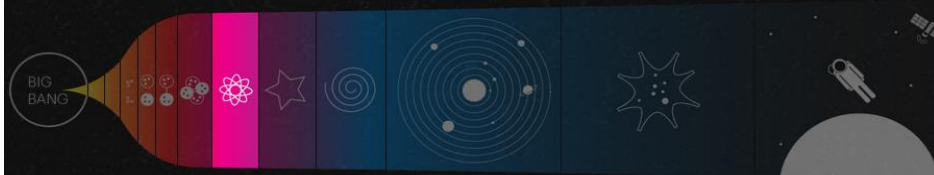
10^{-4} segundos Formação de prótons e neutrões

Por esta altura, formam-se os prótons e os neutrões, os constituintes dos futuros núcleos dos átomos. Com a continuação do arrefecimento do Universo, os quarks, unidos pela força nuclear forte, puderam começar a ligar-se formando os prótons e os neutrões. Cada neutrão e próton tem três quarks. É a altura do chamado confinamento dos quarks. A criação dos prótons significa também a criação do núcleo do hidrogénio, que é composto por um único próton.

A história do Universo em 13 momentos

Por *Teresa Firmino e Cátia Mendonça*

Sabemos hoje que o Universo está em expansão. Que nasceu a partir de um momento zero e, desde aí, tem evoluído. A descoberta desta expansão, do final dos anos 1920, baseou-se em observações de que as galáxias se estavam a afastar umas das outras. Na realidade, é o espaço entre as galáxias que está a aumentar e, em consequência disso, as galáxias estão a afastar-se entre si. Imaginemos um balão em cuja superfície, o tecido do espaço-tempo, pintámos vários pontos: à medida que o enchemos de ar, expandindo-o, o espaço entre os pontos vai aumentando. É isso que está a acontecer ao Universo. Escolhemos aqui alguns momentos da sua longa existência ou, por outras palavras, da história de tudo.



380.000 anos

Formados os átomos leves e emissão da radiação cósmica de fundo

Formação de átomos leves – hidrogénio, deutério, trítio e hélio. A temperatura do Universo baixa ainda mais – ronda agora os 2700 graus Celsius –, o que permite que os núcleos atómicos e os electrões, até aí separados, se juntem formando os átomos. Antes disso, os fótons (a luz) chocavam frequentemente com os núcleos atómicos e os electrões, o que impedia a luz de viajar. Por essa razão, entre o Big Bang e os 380 mil anos, o Universo é opaco, sendo impossível vê-lo directamente. A junção dos electrões à volta do núcleo dos átomos deixa o caminho livre para a passagem dos fótons e o Universo fica transparente à luz. A matéria e a radiação separam-se ou, como dizem os físicos, desacoplam-se. A luz desses tempos, a mais antiga que vemos e que se chama radiação cósmica de fundo,

A história do Universo em 13 momentos

Por *Teresa Firmino e Cátia Mendonça*

Sabemos hoje que o Universo está em expansão. Que nasceu a partir de um momento zero e, desde aí, tem evoluído. A descoberta desta expansão, do final dos anos 1920, baseou-se em observações de que as galáxias se estavam a afastar umas das outras. Na realidade, é o espaço entre as galáxias que está a aumentar e, em consequência disso, as galáxias estão a afastar-se entre si. Imaginemos um balão em cuja superfície, o tecido do espaço-tempo, pintámos vários pontos: à medida que o enchemos de ar, expandindo-o, o espaço entre os pontos vai aumentando. É isso que está a acontecer ao Universo. Escolhemos aqui alguns momentos da sua longa existência ou, por outras palavras, da história de tudo.



550 milhões de anos

Primeiras estrelas

Nasceram as primeiras estrelas, iluminando o Universo. Este, em média, já arrefeceu bastante e está muito abaixo do zero usual: tem à volta de 240 graus Celsius negativos. Para trás ficou a "era das trevas", como é conhecida essa altura em que o Universo não tinha estrelas. Análises às observações do telescópio espacial europeu Planck, divulgadas em Fevereiro de 2015, revelaram que as primeiras estrelas surgiram cerca de 100 milhões de anos mais tarde do que se supunha, portanto 550 milhões de anos após o Big Bang. As estrelas são essenciais à química da vida, pois é no seu interior, nas reacções de fusão nuclear, que se formam átomos mais pesados como o carbono ou o ferro. Ao morrerem, há estrelas que atiram para o espaço as suas camadas exteriores – onde se incluem átomos que fabricaram e que serão incorporados na formação de novas estrelas e dos seus sistemas planetários. Nós e o nosso planeta somos feitos de poeira de estrelas, como o ferro que transporta o oxigénio no nosso sangue.

A história do Universo em 13 momentos

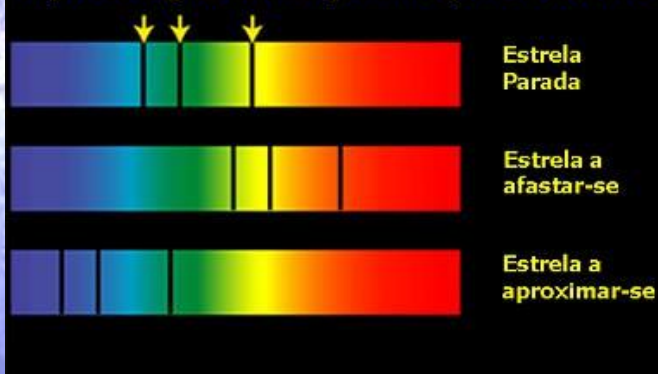
Por *Teresa Firmino e Cátia Mendonça*

Sabemos hoje que o Universo está em expansão. Que nasceu a partir de um momento zero e, desde aí, tem evoluído. A descoberta desta expansão, do final dos anos 1920, baseou-se em observações de que as galáxias se estavam a afastar umas das outras. Na realidade, é o espaço entre as galáxias que está a aumentar e, em consequência disso, as galáxias estão a afastar-se entre si. Imaginemos um balão em cuja superfície, o tecido do espaço-tempo, pintámos vários pontos: à medida que o enchemos de ar, expandindo-o, o espaço entre os pontos vai aumentando. É isso que está a acontecer ao Universo. Escolhemos aqui alguns momentos da sua longa existência ou, por outras palavras, da história de tudo.



Vídeo de Linhas Espectrais

"Impressão digital" dos componentes químicos da estrela



Rafael Padua

