



A CONSTANTE DE HUBBLE: UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA DISCUTIR A COSMOLOGIA EM SALA DE AULA NO ENSINO MÉDIO

Ismerindo Laube de Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do ABC – UFABC no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Professor Dr. Célio Adrega de Moura Junior

Santo André
Junho de 2016



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Fundação Universidade Federal do ABC

Programa de Pós-Graduação em Mestrado Nacional Profissional em
Ensino de Física

Avenida dos Estados, 5001 – Bairro Santa Terezinha – Santo André – SP

CEP 09210-580 · Fone: (11) 4996-0017

ppg.mnpef@ufabc.edu.br

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

No primeiro dia do mês de julho de dois mil e dezesseis, às dez horas, na sala 301, 3º andar do Bloco B, da Universidade Federal do ABC, no campus Santo André, realizou-se a Defesa de Dissertação de Mestrado intitulada “**A CONSTANTE DE HUBBLE: Uma proposta didática para discutir a Cosmologia em sala de aula no Ensino Médio**” de autoria do candidato **Ismerindo Laube de Oliveira**, RA nº 13029313, discente do Programa de Pós-Graduação em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UFABC. Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, o candidato foi considerado aprovado pela Banca Examinadora.

E, para constar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da Banca.

Breno Arsioli Moura

Prof.(a) Dr.(a) Breno Arsioli Moura
UFABC – Titular

José Alves da Silva

Prof.(a) Dr.(a) José Alves da Silva
UNIFESP – Titular

Prof.(a) Dr.(a) Vilson Tonin Zanchin

UFABC – Suplente

Prof.(a) Dr.(a) Rui Manoel de Bastos
Vieira

UNIFESP – Suplente

Laura Paulucci

Prof.(a) Dr.(a) Laura Paulucci Marinho
UFABC – Presidente



Universidade Federal do ABC

FICHA CATALOGRÁFICA

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do ABC

Elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFABC
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Laube de Oliveira, Ismerindo

Uma proposta didática para discutir a Cosmologia em sala de aula no Ensino Médio / Ismerindo Laube de Oliveira. — 2016.

132 fls.

Orientador: Célio Adrega de Moura Júnior

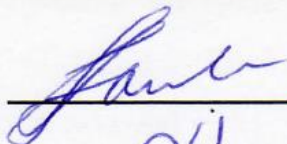
Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do ABC, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, Santo André, 2016.

1. Ensino de Física. 2. Cosmologia. 3. Constante de Hubble. 4. Expansão do Universo. 5. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. I. Adrega de Moura Júnior, Célio. II. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, 2016. III. Título.

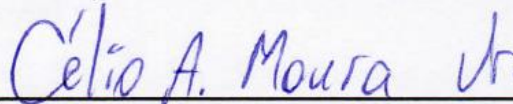
Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, de acordo com as observações levantadas pela banca no dia da defesa, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

Santo André, 31 de outubro de 2016.

Assinatura do autor: _____



Assinatura do orientador: _____



DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho:

A meus pais Vaini e Agenor (in memoria) de cujo amor resultou o meu direito de vir ao mundo para sentir o prazer de viver; à Regina, minha querida esposa que com o seu jeito carinhoso soube estimular-me sempre que perguntava – “Você não tem coisas do mestrado para fazer?”; Aos meus filhos: Nicário, Vaini e Max que foram compreensivos quando deixamos de sair para nos divertir porque eu sempre tinha que realizar as atividades pertinentes ao curso.

AGRADECIMENTOS

Compartilho da ideia de que ninguém é uma ilha e nem se faz sozinho, como diz Paulo Freire “ninguém educa ninguém, ninguém se educa a si mesmo, os homens se educam entre si, mediatizados pelo mundo.” (FREIRE, 1987, p. 39). Sendo assim, sinto-me na obrigação de externalizar meus agradecimentos a todos que considero fundamentais à formação desse eu atual. Cito algumas dessas pessoas em particular.

A meus irmãos: Nilton, Edmundo e João, pelo incentivo a minha escolha da Física para ser Professor, quando eu ainda jovem tinha outras opções de carreira para seguir; ao meu tio João Laube cujo jeito tranquilo mostrou-me que a vida pode ser melhor se vivida com equilíbrio; a todos os meus parentes que cuidaram de mim quando fiquei órfão ainda muito criança.

A todos os meus Professores, dos quais absorvi uma parcela de cada, para compor a base em cima da qual vivo em permanente construção. Desde a minha primeira Professora, Dona Zilda Schüffner (da Escola Municipal do Alto Bamberg / Teófilo Otoni - MG), que me ensinou os primeiros passos rumo ao conhecimento até a última desta jornada, a Professora Dra. Laura Paulluci (UFABC) cuja juventude não me deixa esquecer a importância dos mais jovens na manutenção do conhecimento científico. E, que por isso tem que serem valorizados.

Aos Professores do MNPEF (UFABC): José Kenichi Mizukoshi, Lúcio Campos Costa, Célio Adrega de Moura Junior, José Antonio de Souza, Pedro Galli Mercadante, Laura Paulucci Marinho, Marcelo Oliveira da Costa Pires, Nelson Studart Filho, Ronei Miotto e Leticie Mendonça Ferreira. Pela maneira que cada um ao seu modo contribuiu para a finalização desse meu projeto pessoal. Pela paciência daqueles que ministraram disciplinas apelidadas de “hard core” da Física, como termodinâmica e mecânica estatística, eletromagnetismo e mecânica quântica, pois sabiam que há muito eu tinha perdido o traquejo matemático e que por isso eu avançava devagar.

Agradeço aos professores membros da banca, Dr. José Alves da Silva, Dra. Laura P. Marinho e Dr. Breno A. Moura, que tanto contribuíram com sugestões para melhor adequação do texto às exigências formais desse tipo de trabalho.

Ao meu orientador, Professor Dr. Célio Adrega de Moura Junior, que desde a conversa inicial identificou a minha acentuada queda pela Cosmologia, quando a

minha pretensão era trabalhar com o efeito fotoelétrico. Por sua colaboração e sugestão na escolha do tema da constante de Hubble. Por sua sugestão juntamente com a Professora Laura, quanto ao experimento da paralaxe. Pela sua paciência que, mesmo com as tarefas do seu trabalho no Fermilab (E.U. A), encontrou tempo para ler e reler meus textos e apontar com rigor outras possibilidades para a melhor compreensão desta dissertação à vista de nosso objetivo.

Aos colegas do curso: Romero, Alexandre Munhoz, Alexandre Magno, Ari, William, Erlon, Leonardo, Cremilson, Jurandi, José Fazano, Martin, André e Fernando. O grupo foi nomeado por nós de “os quatorze macacos” em aversão ao preconceito racial que assola nossa sociedade, um episódio particular em que o goleiro Mario Lucio Duarte Costa foi xingado de macaco por uma torcedora durante uma partida de futebol em agosto de 2014. A parceria que se fez presente ao longo desses dois anos foi importante para fazer as dificuldades particulares se diluírem no grupo, só nós sabemos das dificuldades impostas.

Aos colegas dos encontros de Cosmologia do PROVE pela generosidade em dialogar comigo sobre a temática dos céus, sempre trazendo, a cada encontro, novas dúvidas que me estimulavam a pesquisar. A esses, peço desculpas por não ter aberto a “caixa preta”, espero que entendam os motivos do método científico como causa da minha recusa.

Aos meus alunos dos terceiros anos do Ensino médio da E. E. José Lins do Rego, tanto os de 2014 quanto os de 2015, que participaram das atividades: do elástico, do efeito Doppler, da medida por paralaxe e dos cálculos da constante de Hubble e da idade do Universo.

Agradeço igualmente ao meu colega, professor Celio R. Januário que por curiosidade aplicou, no ano de 2015, os testes em suas salas de primeiro e segundo anos, para identificar suas concepções de Universo. Também agradeço a toda equipe da E. E. José Lins do Rego (Direção, Coordenação e Professores) pela compreensão naqueles momentos de angústia em relação à falta de materiais. Agradeço igualmente ao Sr. Daniel, que sempre me auxiliava, emprestando uma ferramenta para as montagens dos experimentos.

Ao povo brasileiro, representado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES), que paga seus impostos, dos quais pequeníssima parcela foi convertida em apoio financeiro por meio de bolsa-auxílio a mim concedida.

RESUMO

A CONSTANTE DE HUBBLE: UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA DISCUTIR A COSMOLOGIA EM SALA DE AULA NO ENSINO MÉDIO

Ismerindo Laube de Oliveira

Orientador:
Professor Dr. Célio Adrega de Moura Junior

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação (Universidade Federal do ABC - UFABC) no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Neste trabalho é apresentada uma proposta coerente para discutir a cosmologia em sala de aula no Ensino Médio, com foco na constante de Hubble. Para tanto: busca-se compreender como a Cosmologia é apresentada nos livros didáticos desse nível escolar; discutem-se as dificuldades do ensino desse tema no Ensino Médio. Documentos oficiais dos órgãos educacionais (PCNEM - MEC, 1999) foram consultados para justificar a implementação da Cosmologia no Ensino médio. Mas, para o sucesso desta tarefa, foi necessário dividir o trabalho em duas frentes: a primeira, uma abordagem didático/pedagógica, apoiada em diversos pesquisadores do ensino das ciências celestes na educação básica, dentre eles, Rodolfo Langhi e Roberto Nardi, discutindo o ensino da astronomia e Marco Antonio Moreira, com preocupações metodológicas as quais auxiliaram na confecção da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), que é um produto para a sala de aula. A segunda frente foi a busca da compreensão da Cosmologia no contexto da ciência, como ela saiu de mera especulação no passado, para chegar a um patamar de destaque entre as demais áreas do saber humano na atualidade.

Palavras-chave: Ensino de Física, Cosmologia, Hubble, expansão do Universo.

Santo André
Junho de 2016

ABSTRACT

THE HUBBLE CONSTANT: A PROPOSAL FOR TEACHING TO DISCUSS COSMOLOGY IN THE CLASSROOM

Ismerindo Laube de Oliveira

Supervisor: Professor Dr. Célio Adrega de Moura Junior

This thesis presents a coherent proposal to discuss cosmology in high school classes, focusing on the Hubble constant. To this end: we try to understand how cosmology is presented in textbooks for high school level. We discuss the difficulties of teaching this subject in high school. Official documents of educational agencies (PCNEM - MEC 1999) were consulted to justify the implementation of Cosmology in high school level. But for the success of this task it was necessary to work on two fronts: the first one is a didactic / pedagogical approach, supported by several researchers of the teaching of celestial science in basic education, among them Rodolfo Langhi and Roberto Nardi, discussing specifically the astronomy education and Marco Antonio Moreira, with methodological concerns (LANGHI & NARDI, 2013.) which assisted in the making of the Potentially Meaningful Teaching Units (PMTU) that is a teaching method for the classroom. The second front of our work was an attempt to understand cosmology in the context of science, as this issue changed its status from speculation, in the past, to reach a leading science level among the other areas of human knowledge today.

Keywords: Teaching of Physics, Cosmology, Hubble expansion of the Universe.

Santo André

Junho de 2016

Sumário

INTRODUÇÃO	12
O Contexto.....	13
Parte 1: A Cosmologia e o Ensino Médio	14
Parte 2: A Cosmologia no Contexto da Ciência	14
PARTE I	18
A COSMOLOGIA E O ENSINO MÉDIO	19
1. A PROPOSTA.....	20
1.1. O Interesse Pessoal e a Preocupação Com o Ensino.....	20
1.2. A Escolha do Tema	23
1.3. A Opção Pelo Referencial Teórico.....	23
1.4. Um Breve Olhar Para as Questões do Ensino da Cosmologia na Educação Básica.....	25
2. A COSMOLOGIA NO ENSINO MÉDIO: UMA REALIDADE QUE SE DESCORTINA..	26
2.1. Sobre a Oficialização do Ensino da Cosmologia no Brasil.....	26
2.2. As Dificuldades no Ensino das Ciências Celestes e a Perspectiva de Uma Luz no Fim do Túnel	27
2.3. A Presença da Cosmologia nos Livros Didáticos de Física no Ensino Médio: Um Breve Recorte.	29
3. JUSTIFICATIVAS DAS ATIVIDADES DO PRODUTO PARA APLICAÇÃO EM SALA DE AULA DO ENSINO MÉDIO (UEPS)	31
3.1. Justificativa do Experimento da Medida de Distância Por Paralaxe	34
3.2. Justificativa do Experimento do Elástico para Analogia Com a Lei de Hubble	35
3.2.1. Esticamento do Elástico	37
3.3. Justificativa do Experimento Sobre o Efeito Doppler Sonoro	38
3.4. Justificativa do Experimento do Espectroscópio	38
PARTE II	40
A COSMOLOGIA NO CONTEXTO DA CIÊNCIA.....	41
4. COSMOLOGIA: BREVE RESGATE HISTÓRICO.....	42
4.1. A História da Cosmologia em Três Momentos	43
4.1.1. Dos Mitos Cosmogônicos à Cosmologia Científica	44
4.1.2. A Terra Como Centro do Universo	45
4.1.3. O Sistema de Copérnico	46
4.2. Alargamento das Fronteiras do Mundo.....	49
4.3. O Universo em Expansão.....	50
5. CAMINHOS DA DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE EXPANSÃO DO UNIVERSO	52

5.1. Obtendo Medidas Astronômicas	52
5.1.1. Medindo distâncias.....	52
5.1.2. Medindo Velocidade Radial	53
5.1.3. O efeito Doppler.....	54
6. OS VÁRIOS UNIVERSOS TEÓRICOS	59
6.1. O Universo de Einstein	59
6.2. O Universo de Friedmann.....	60
6.3. O Universo de Lemaître.....	61
6.4. O Big Bang	62
6.5. O Modelo Padrão Cosmológico (MPC)	65
6.6. A Diferença de Energia Entre a Previsão e o Que é Observado: Matéria Escura ..	65
7. POSSÍVEIS ALTERNATIVAS AO BIG BANG	Erro! Indicador não definido.
7.1. Teoria do Universo Estacionário	69
7.2. Teoria do Universo Quase Estacionário.....	70
7.3. Modelo de Alfvén-Klein: A Cosmologia de plasma.....	70
7.4. O Universo de Arp: A Criação Continua de Matéria	71
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
REFERÊNCIAS	78
O PRODUTO.....	82
PROPOSTA E DESENVOLVIMENTO DA UEPS	83
PROPOSTA DE UEPS (Unidade de Ensino Potencialmente Significativa)	84
APÊNDICE: RELATÓRIO DE APLICAÇÃO DA UESPS: A DETERMINAÇÃO DA	
CONSTANTE DE HUBBLE, NA E.E. JOSÉ LINS DO REGO	88
OBTENDO DISTÂNCIAS POR PARALAXE PARTE 1	101
OBTENDO DISTÂNCIAS POR PARALAXE PARTE 2	102
Roteiro para confecção de um espectroscópio.....	103
Experimento sobre o efeito Doppler do som.....	105
Esticamento linear de um elástico: Simulação da lei de Hubble	109
Atividades: espectroscopia e desvio espectral	113
RESULTADOS DO PRÉ-TESTE APLICADO EM 2014	115
Questionário “A Cosmologia e a Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. – pré-teste aplicado em 2015.	118
RESULTADOS DO PRÉ-TESTE: (Questionário aplicado em 2015).....	120
Avaliação aplicada em dezembro de 2015.....	129
Resultados da avaliação final (item XI).....	130

INTRODUÇÃO

Desde tempos remotos o céu tem sido objeto de adoração da humanidade, mas durante muito tempo as explicações dos objetos visíveis no céu e os fenômenos que nele ocorrem estavam baseados em princípios religiosos e mitológicos. Com o passar do tempo, essas explicações passaram a ocupar cada vez mais espaço na ciência e na filosofia. A astronomia, por exemplo, que nasceu junto com a curiosidade humana, lentamente aumentou seu raio de ação e incorporou, além da matemática, outras ciências, como a física e a química. Desse modo foi necessário implementar um currículo com diversas disciplinas com a finalidade de aplicar métodos mais enxutos para alcançar resultados com abrangência mais duradoura. Atualmente, fazem parte da grade curricular da astronomia, dentre outras disciplinas, a astrofísica e a cosmologia, essa última, relativamente antiga, mas moderna como ciência, é o objeto de discussão nesta dissertação, em particular, como o próprio título indica, será enfatizada a constante de Hubble como pretexto para a sua discussão em sala de aula.

Nosso objetivo nesse trabalho é buscar a diminuição das distâncias entre a academia e a escola básica, através da construção de uma proposta aplicável em sala de aula no ensino médio que possibilite, no âmbito curricular de física, discutir os fundamentos da cosmologia. Para tanto, decidimos fazer um recorte na imensidão de conhecimentos desta ciência, escolhendo explorar a constante de expansão do Universo, conhecida como constante de Hubble, a qual nos dá a oportunidade de discutir as diversas facetas das teorias que buscam explicar a origem e o funcionamento do cosmos. Estudamos a lei de Hubble onde a constante H_0 indica, no modelo do big bang, como o Universo evolui no espaço-tempo. Além disso, procuramos mostrar que a explicação da origem do Universo ainda está longe de oferecer a resposta final, por isso, modelos alternativos são objetos de estudo, como veremos, de uma parcela reduzida de cientistas que não se convenceram de que a teoria do “*estrandão*” (SOARES, 2002 e ASSIS & NEVES, 2010) explica satisfatoriamente todos os aspectos da origem do Universo.

A proposta para a sala de aula no ensino médio consiste na elaboração de um *produto*¹ que foi organizado de maneira a poder contribuir com o ensino de física no ensino médio. Essa proposta aglutina a curiosidade dos alunos aos conteúdos da ciência física. A fim de encontrar uma alternativa para concretizar esse produto, fez-se levantamento bibliográfico que proporcionou a escolha da elaboração de uma UEPS (Unidade de Ensino Potencialmente Significativa), que é uma sequência de conteúdos elaborada de modo a facilitar a aprendizagem por parte dos alunos (ver produto).

Para dar conta de tamanha empreitada buscamos apoio em diversos autores, a maioria deles pesquisadores desse ramo do conhecimento, alguns preocupados com as questões epistemológicas como Mario Novelo, Roberto de A. Martins, Augusto Damineli, Domingos S. L. Soares, Marcos Danhoni Neves e André K. T. Assis. Outros interessados no desenvolvimento de aplicações no ensino de física, entre eles: Marco Antônio Moreira, Roberto Nardi, Rodolfo Langhi, Cristina Leite, João B. Canale, Sergio M. Bisch, Ronaldo E. de Souza, Kepler de Souza/ Maria de Fátima Saraiva e J. E Horvath et al.². Além daqueles cujo olhar está voltado diretamente para a cosmologia, como: Halton Arp, Edwin P. Hubble, Knut Lundmark, William Huggins e G. Lemaître.

Em diversas situações o acesso aos trabalhos originais dos autores se deu primeiramente pela via dos autores de divulgação científica os quais, serviram-nos como guia para melhor compreensão de partes específicas desses originais, dentre os autores de divulgação, buscamos auxílio em: Joseph Silk, Simon Singh, Romulo Argentiére e Brian Greene.

O Contexto

A fim de atender às exigências regimentais do MNPEF e ao mesmo tempo estudar um tema de nosso interesse, casando com a aplicação em sala de aula, esta dissertação está dividida em duas partes: Na primeira, dissertamos sobre a aplicação da cosmologia em sala de aula da escola básica, no caso o ensino médio,

¹ O Produto aqui mencionado é parte obrigatória da conclusão do mestrado profissional, conforme art. 28 parágrafo 4º do regimento do programa MNPEF (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física).

² A ordem que os nomes aparecem não está pautada em alguma ordem lógica ou de importância desses autores.

na segunda, tratamos da cosmologia no contexto Histórico/científico, isto é, uma investigação dos caminhos que levaram esta área do conhecimento humano a sair do nível especulativo para galgar o posto de ciência como é vista na atualidade. Com maior atenção na compreensão da constante de Hubble como indicativo de que o Universo está em expansão. A seguir, apresentamos brevemente essas duas partes.

Parte 1: A Cosmologia e o Ensino Médio

Nesta parte houve empenho no sentido de compreender a situação do ensino da cosmologia na escola básica brasileira, para, a partir dessa compreensão, construir uma atividade que possa contribuir para a melhoria do ensino das ciências celestes nesse nível de ensino.

Ainda nessa parte, além de realizar breve pesquisa sobre a situação do ensino das ciências celestes na escola básica: aspectos legais, a inserção nos livros didáticos e o trabalho real em sala de aula, discute-se também a confecção do produto, uma proposta de UEPS para levar a discussão de alguns aspectos da cosmologia para a sala de aula do ensino médio. Para a construção desse produto, foi necessária uma estratégia pedagógica, preferencialmente a teoria da *aprendizagem significativa*. Entenda-se *significativa* no sentido defendido por Ausubel³, de que o ato de *ensinar* tem que pressupor o efeito que é o de *aprender*.

Parte 2: A Cosmologia no Contexto da Ciência

Na segunda parte procuramos entender como se deu a transformação de especulações antigas na cosmologia, uma ciência que hoje envolve um grande número de pessoas de diversas áreas do conhecimento humano. Como o assunto é extenso, não é a intenção aqui descrever em detalhes cada período da História da ciência que culminou na introdução de um novo paradigma. Essa parte tem por objetivo fornecer um panorama geral da cosmologia a fim de servir de base para a realização das atividades do produto. Desse modo, fez-se uma análise linear, começando com os mitos antigos até culminar com as observações do telescópio Hubble⁴ e do satélite COBE⁵.

³ David Paul Ausubel (1918 – 2008) psicólogo estadunidense. Defensor da teoria da aprendizagem significativa.

⁴ Um telescópio lançado no ano de 1990 a uma altitude de aproximadamente 600 km a fim de reduzir os efeitos atmosféricos, os quais tornam os Astrônomos reféns da “vontade” da natureza.

Na caminhada para entender os avanços da cosmologia tivemos a oportunidade de discorrer sobre os problemas encontrados pelo Modelo Padrão da Cosmologia (MPC): a explicação da formação das galáxias e a questão dos quasares de alto desvio para o vermelho⁶ nas proximidades de galáxias de baixo desvio para o vermelho, problema esse, que para alguns pesquisadores, levantam dúvidas em relação à teoria do big bang. Deparamo-nos ainda com os debates sobre as dimensões do Universo e a relação entre a teoria de um universo que teve um início (big bang) e outra de um universo cuja existência é eterna (estado estacionário).

Apesar da ciência “normal”⁷ nos conduzir à discussão do modelo padrão da cosmologia (MPC), tendo o big bang como uma componente da “verdade” sobre a origem do Universo, houve esforço em pequena parcela na segunda parte desta dissertação em apresentar questionamentos de alguns autores acerca de alguns modelos quanto a essa “verdade”. Como o cosmólogo inglês Fred Hoyle e o astrônomo Halton Arp, em relação ao modelo padrão.

Para viabilizar a proposta, isto é, para levar a discussão da cosmologia para a sala de aula. Cada parte da dissertação foi dividida em capítulos, estruturados de modo a justificar a abordagem do tema e, ao mesmo tempo estabelecer uma base específica dos conteúdos da ciência cosmológica, tendo como meta a compreensão da constante de Hubble. Assim, esta dissertação possui a seguinte configuração: No primeiro capítulo, a proposta é apresentada juntamente com suas motivações e

⁵Cosmic Background Explorer, ou Explorador de Fundo Cósmico, satélite lançado em 1989 para investigar a natureza da radiação cósmica de fundo em micro-ondas, uma radiação remanescente do Universo ainda muito jovem.

⁶ Quando se compara o espectro do hidrogênio da luz proveniente de uma galáxia com o espectro do hidrogênio de uma fonte em laboratório fixo na Terra as linhas espectrais são deslocadas. Se esse deslocamento for para a região vermelha do espectro ele é chamado de Desvio para o vermelho ou também Redshift (a galáxia afasta-se da Terra), se for para a região do azul, é chamado de desvio para o azul ou Blueshift (a galáxia aproxima-se da Terra).

⁷ “ciência normal” significa a pesquisa firmemente baseada em uma ou mais realizações científicas passadas. Essas realizações são reconhecidas durante algum tempo por alguma comunidade como proporcionando os fundamentos para sua prática posterior (KUHN, 2001, p. 29).

Segundo T. Kuhn 2001, A mudança de paradigma acontece quando o paradigma anterior apresenta anomalias. A ciência normal não observa anomalias, visto sua carga de responsabilidade e lealdade com os objetivos do paradigma vigente.

“(Paradigma) é um resultado científico fundamental que inclui ao mesmo tempo uma teoria e algumas aplicações aos resultados das experiências e da observação. Mais importante ainda é um resultado cuja conclusão está em aberto e que põe de lado toda uma espécie de investigação ainda por fazer. E, por fim, é um resultado aceito no sentido de que é recebido por um grupo cujos membros deixam de tentar opor-lhe rival ou de criar-lhe alternativas” (Kuhn, 1974, NEVES, 2000, op cit.)

escolhas do tema bem como dos referenciais. No segundo, a cosmologia é apresentada no âmbito do ensino médio, isto é, a sua oficialização nesse nível de ensino e a presença nos livros didáticos. No terceiro capítulo são apresentadas as propostas de atividades (o chamado Produto), para aplicação em sala de aula. No quarto capítulo é apresentada uma visão geral da cosmologia com a finalidade de oferecer uma base para a compreensão dessa ciência e no quinto, a expansão do Universo é discutida com foco na lei de Hubble. No sexto capítulo são apresentados diversos modelos de universo incluindo o do big bang.

É importante notar que quando apresentamos modelos alternativos ao Big Bang pensamos na física em constante evolução e, como ciência, sendo questionada e testada durante toda a sua história. Talvez um dos maiores legados da ciência seja a metodologia que permite sua autocrítica, revisão e possivelmente a comprovação de uma teoria através do confronto entre medidas experimentais e modelos teóricos. Assim, o Big Bang é hoje a teoria cosmológica mais testada e, de certa forma, corroborada de todos os tempos. A importância da exposição dos modelos alternativos neste trabalho é mostrar a dinâmica científica e abrir a possibilidade de questionamento e mudança na cabeça dos professores e estudantes, pois mostrar uma teoria como verdade absoluta e imutável vai contra o próprio método científico. Reconhecemos o limite deste trabalho neste ponto, e que para abordar esse tema em profundidade seria necessária uma tese com foco totalmente diferente. Nosso objetivo principal nos capítulos 6 e 7 é expor informação e estimular uma reflexão inicial, sem, contudo colocar os diversos modelos em pé de igualdade.

O último capítulo foi reservado para apresentar possíveis alternativas ao modelo do big bang para explicar o surgimento do Universo. Desse modo, acreditamos oferecer pequena contribuição para a melhoria do ensino de física e ao mesmo tempo fazer coro juntamente com todas as pessoas que apresentam propostas para a melhoria da qualidade do ensino dessa ciência, no tocante à compreensão do mundo que nos cerca.

Esperamos ainda, que esta proposta possa inspirar nossos alunos a buscarem mais conhecimentos acerca do Universo, sua estrutura e funcionamento. E ainda, que a abordagem dessa ciência auxilie os estudantes a compreenderem os métodos utilizados pela ciência como uma das maneiras de se interpretar o

funcionamento do céu. Que a compreensão se faça com isenção de dogmatismos, esses que podem dificultar o avanço da compreensão do mundo e, conseqüentemente causar o sofrimento daqueles que pensarem de maneira diferente, como o julgamento e morte de Giordano Bruno em 1600 e o julgamento de Galileu Galilei entre 1613 e 1616, pelo órgão inquisidor da igreja católica (GALILEU GALILEI, 1630, tradução de Pablo Mariconda, 2001).

PARTE I

A COSMOLOGIA E O ENSINO MÉDIO

1. A PROPOSTA

Neste capítulo, são apresentados os encaminhamentos desta dissertação, isto é, o interesse deste autor pelo tema, a motivação da escolha do tema, a opção pelo referencial teórico, a metodologia de trabalho e a descrição do produto (UEPS).

1.1. O Interesse Pessoal e a Preocupação Com o Ensino

Desde 1988, quando iniciei na carreira docente como professor de física do segundo grau (atual ensino médio) da rede estadual de ensino na periferia da cidade de São Paulo, venho notando um constante interesse dos estudantes pelos assuntos relacionados ao Universo: sua formação, sua constituição, seu passado e futuro. Mas, observei também que esse assunto era tratado por muitos professores, em geral, como manchetes de jornais ou por mera curiosidade, dificultando desse modo, uma melhor compreensão por parte do aluno a respeito do objeto de sua curiosidade, o Universo.

Devido ao meu interesse e curiosidade pelo assunto, apesar de meu conhecimento sobre cosmologia ainda ser restrito aos textos de divulgação científica, procurei manter-me atualizado, na medida do possível, como já fazia desde 1984 com a realização de diversas leituras, as quais me ajudaram a acompanhar os avanços nesta área do conhecimento humano. Entre essas leituras:

Em 1984: “*As razões da coincidência*” de Arthur Koestler, que aborda as implicações das ciências modernas (em especial da Física), “*Fundamentos de Astronomia*” de Romildo Póvoa e outros, onde são apresentados os rudimentos de Astronomia para o público iniciante e “*Da terra às Galáxias*” de Ronaldo Rogério de Freitas Mourão. Nesse livro, Mourão apresenta os elementos básicos de Astrofísica. Em 1985: “*O colapso do Universo*” de Isaac Asimov, uma discussão mais próxima da Cosmologia Física (para o público com algum conhecimento das ciências básicas), em 1986: “*Astronomia a olho nu*” de Romildo Póvoa. É um texto paradidático. Em 1987: “*Aventura humana no espaço e no tempo*” de R. Argentiére: apresentação das teorias da relatividade de Einstein e “*Nascimento e morte do sol*” de George Gamow, texto em que o autor busca, de modo didático, apresentar a formação e morte das estrelas e faz uma breve incursão pela física moderna.

Pensando na maneira como os alunos recebiam o tema das ciências celestes⁸, comecei a articular uma possibilidade de interferir para melhorar a relação deles com a cosmologia. No ano de 1991, decidi empenhar-me num estudo mais aprofundado, com a leitura do livro *“Big Bang”* de Joseph Silk, que apresenta em alguns capítulos, algo mais do que a simples divulgação científica. Nesta obra encontrei pela primeira vez uma discussão em nível científico do modelo do Big Bang, o que me estimulou ao aprofundamento no tema. A partir de então, fiz diversas leituras. Essas leituras e estudos como os cursos que fiz à distância, oferecidos pelo Observatório Nacional e presenciais oferecidos pelo IAG/USP, auxiliaram-me a fazer uma melhor abordagem em sala de aula, quando indagado pelo aluno curioso sobre temas relativos ao Universo. As indagações, juntamente com as respectivas discussões, às vezes geravam debates por várias semanas. Em minha opinião as apresentações e discussões motivavam os alunos a investir na busca de mais conhecimentos sobre o Universo.

Entre 1993 e 1994, participei do curso: *“A mecânica e o ensino do segundo grau”*, no IFUSP (Instituto de Física da Universidade de São Paulo - SP), no qual se debatia o futuro curricular da Física. Nesse curso, que contou com a colaboração de diversos estudiosos, chamou-me a atenção às participações dos Professores João Zanetic e Luiz Carlos de Menezes, ambos do Instituto de Física da Universidade de São Paulo. O primeiro discutindo a evolução da astronomia e o segundo, mostrando a necessidade de se “abrir as portas” do Segundo grau para a física moderna. Durante o curso, fortaleceu em mim a ideia de que era chegado o momento definitivo de levar a cosmologia para a sala de aula, uma vez que essa área do conhecimento abrange o estudo do Universo em larga escala: do micro ao macro mundo.

Uma ideia que foi reforçada pela comparação que eu fazia entre essa “nova” física e aquela trabalhada por mim até então que parecia estar muito centrada nos preceitos conteudistas, talvez uma preocupação exclusiva com os vestibulares. Pois aquela estava mais preocupada em fazer o aluno memorizar fórmulas para usá-las no dia do exame e esquecer-las no dia seguinte. Por outro lado, a “nova” Física, propunha uma abordagem que valorizava a física no âmbito da ciência, enfatizando maior preocupação com a compreensão dos fenômenos. É importante observar aqui que não se tratava de abominar os conteúdos da física trabalhados anteriormente e

⁸ Esse termo será usado ao longo desta dissertação, no sentido mais geral por envolver a Cosmologia, a Astronomia e a Astrofísica.

“endeusar” uma “nova” física, mas sim, começar a tratá-los não mais em seus aspectos excessivamente matemáticos como aprendi nos tempos da escola básica, tempos esses, nos quais a física chegava a ser confundida com a própria matemática.

Para concretizar minha proposta de então, elaborei uma série de vinte transparências (daquelas que eram visualizadas num dispositivo chamado retroprojeto) e cujo título foi A EVOLUÇÃO DOS PRINCÍPIOS COSMOLÓGICOS. Passei a partir de 1995 a aplicá-las nas primeiras semanas do curso de física para as primeiras séries do segundo grau no período noturno na E. E. Antônio Aggio, na periferia da zona sul da cidade de São Paulo e, porventura, nas demais séries quando solicitado. Nesse trabalho ordenei uma abordagem histórica da evolução do pensamento humano sobre seu olhar para o Universo desde os sumérios até os tempos atuais.

Em 1995, fui convidado a apresentar esse trabalho como palestra numa feira de ciências para professores e seus alunos, na E. E. Oswald de Andrade, localizada também na periferia da zona sul da cidade de São Paulo. Foi muito interessante para mim e intrigante ao mesmo tempo, pois, ao conversar com os colegas após a apresentação, percebi que muitos não conheciam a cosmologia além do que era divulgado em pequenos artigos de revistas ou notícias de jornais ou TV. No final da apresentação apliquei uma avaliação para verificar o alcance da palestra e percebi então que estava no caminho correto, pois os resultados da avaliação evidenciaram que a apresentação fora elucidativa e colaborativa, segundo meu ponto de vista, no sentido da elevação da cultura científica dos presentes. Desde então, estive mais atento às publicações sobre a cosmologia.

Além de continuar trabalhando a cosmologia em sala de aula, a partir de 2007, passei a discutir esse tema com grupos de professores da rede municipal de ensino da cidade de São Paulo, integrando ao PROVE (Projeto de Valorização do Educador)⁹. Nesse caso, a cosmologia foi sempre discutida com o objetivo de

⁹ Esse Projeto liderado por um grupo de escolas municipais da periferia da cidade de São Paulo (Parque Santo Antônio, Capão Redondo e jardim Ângela), que desde meados da década de 1990 buscam a melhoria da qualidade de ensino, via valorização do Educador. A estratégia desse projeto consiste na formação em trabalho como defende P. Freire. Assim, são contratados especialistas de áreas diversas do conhecimento, esses, “atendem” aos grupos de Educadores nas escolas e dentro da jornada de trabalho. No ano de 2015, participaram do PROVE cinco escolas (EMEF Mauro Faccio Gonçalves – Zacaria, EMEF Carolina Rennó R. de Oliveira, Profa. EMEF Mario Marques de Oliveira, EMEF M’ Boi Mirim III e EMEF Dezoito do Forte. Ao final de cada ano letivo os grupos que participam

cultura científica, para que o (a) professor (a) tivesse maior repertório sobre as questões do céu e maior possibilidade de discutir tais questões com o menor grau de dogmatismo possível. O curso de cosmologia do PROVE foi descontinuado em 2015 em virtude do presente trabalho, mas, será retomado no próximo ano.

Nesse ano de 2015, continuo trabalhando as noções de cosmologia em sala de aula. Acredito que agora com maior segurança apesar de muitas dúvidas ainda persistirem. Nos três últimos anos fiquei convencido de que a discussão sobre esse assunto se torna mais proveitosa se for trabalhada com os alunos do último ano do ensino médio. Uma vez que esses já possuem, em tese, maior maturidade para debater sobre o céu e também maior repertório científico visto que já tiveram contato com os tópicos básicos da física, da química e de outras ciências.

1.2. A Escolha do Tema

Como pretextos para encaminhar a discussão da cosmologia em sala de aula e contribuir minimamente com o complexo cenário do ensino das ciências celestes, três fatores foram motivadores para a eleição desse tema como meta do nosso trabalho, sendo um deles, o interesse pessoal deste autor pelo assunto, como foi descrito no item anterior; o outro, por ser um assunto pelo qual a maioria dos estudantes é apaixonada e o terceiro, a inserção desse tema nos documentos oficiais do Ministério da Educação (PCN e PCENEM).

1.3. A Opção Pelo Referencial Teórico

Como o objetivo deste trabalho é produzir uma atividade que possa ser coerentemente aplicada em sala de aula do ensino médio, não se pode prescindir da elaboração didática. Razão pela qual buscamos uma teoria na teoria da aprendizagem significativa um suporte que possibilite a construção da UEPS sobre a constante de Hubble de modo a facilitar a apreensão pelos alunos do tema abordado e ao mesmo tempo possibilitar uma abordagem de cosmologia.

Em oposição a uma aprendizagem puramente *mecânica*, acreditamos que a relação ensino aprendizagem deve acontecer de modo a considerar o ser humano

além da simples “*tabula rasa*”¹⁰. Nesse sentido, concordamos com a abordagem da teoria da *aprendizagem significativa* de Ausubel/Novak¹¹. Essa teoria cognitiva procura entender como um aluno aprende determinado conteúdo e, o fator mais importante para que ocorra a aprendizagem, segundo Ausubel, é conhecer aquilo que o aluno já sabe, isto é, suas experiências anteriores. Cabe ao professor a tarefa de descobrir o conhecimento prévio do aluno para, a partir dele, ensinar um novo conteúdo. Para Ausubel o conhecimento prévio relaciona-se com o novo através de uma espécie de “âncora” a que ele chamou de “*conceito subsunçor*”. Assim, quando um conceito novo é aprendido ele passa a funcionar como um novo subsunçor, formando uma estrutura hierárquica. Essa teoria adapta-se bem quando se trata do ensino de física uma vez que os conceitos são trabalhados de modo a considerar o conceito aprendido anteriormente.

Segundo Moreira (2012), Ausubel não distingue aprendizagem mecânica da aprendizagem significativa, pois, quando o aluno aprende um conceito para o qual não há um subsunçor, assim, a nova informação fica armazenada de forma arbitrária, isto é, há pouca ou nenhuma interação entre a informação nova e alguma anterior. Isso ocorre quando o assunto a ser ensinado for totalmente novo. Esse é, por exemplo, o caso de uma pessoa com uma formação específica que resolve aprender um assunto totalmente novo e para o qual ela não foi “alfabetizada”, desse modo os primeiros conceitos e definições do novo assunto ficarão armazenados arbitrariamente, somente após formar uma base de termos do novo conhecimento é que os próximos serão aprendidos significativamente.

Na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, os conceitos relacionam-se de modo que um novo conceito fixa-se a um conceito anterior formando uma estrutura hierarquicamente organizada na mente do aprendiz. Desse modo o novo conhecimento é transformado no que Ausubel chama de *subsunçor modificado* (MOREIRA, 2009, p.156). A teoria de Ausubel/Novak se distingue em três tipos, sendo eles: (1) *A aprendizagem representacional* que está relacionada à transformação em de símbolos ao significado deste com o objeto do conhecimento

¹⁰ Termo latim que significa tábua raspada, com conotação de “uma folha de papel em branco”. Esse termo foi usado pelo filósofo empirista inglês John Locke (1632 – 1704) para indicar que todo mundo nasce com mente vazia e que a experiência se encarrega de preenchê-la.

¹¹ David Paul Ausubel (1918 – 2008) médico-psiquiatra estadunidense, cuja dedicação à psicologia resultou na teoria construtivista da *aprendizagem significativa* (termo *cunhado* pelo próprio Ausubel). Segundo Moreira, ao aposentar-se Ausubel retomou sua antiga carreira e, seu trabalho foi continuado por seu compatriota Joseph Donald Novak (1932 -), assim, Moreira sugere que seja mais adequado nomear essa teoria de teoria de Ausubel e Novak. (MOREIRA, 1999, p. 151).

serve claramente ao propósito de aplicação da cosmologia em sala de aula. (2) *Aprendizagem de conceitos*, que é um tipo mais genérico da aprendizagem representacional. (3) *Aprendizagem proposicional*, esta, implica na aprendizagem das ideias gerais dos conceitos e não apenas palavras isoladas de cada conceitos, é uma aprendizagem mais abrangente.

Considerando a teoria ausubeliana para a construção da UEPS sobre a constante de Hubble, partimos do conhecimento dos alunos sobre ondas para ensinar o efeito Doppler, dos conhecimentos de estrutura atômica para abordar espectro luminoso e velocidade de recessão das galáxias, do conhecimento dos planetas do sistema solar para ensinar sobre outros sistemas e outras galáxias. Seguindo nesta organização, atingimos o objetivo que é de conduzir o aluno a compreender como foi determinada a constante de Hubble e, a partir desse ponto, discutir a expansão do Universo com base no modelo do big bang.

1.4. Um Breve Olhar Para as Questões do Ensino da Cosmologia na Educação Básica

Na discussão da problemática do ensino das ciências relacionadas ao Universo, não é incomum encontrar trabalhos de pesquisa que apontam a precariedade do que se faz nas salas de aula de educação básica brasileira. Muitos autores discutem os problemas e apontam possíveis melhorias do ponto de vista do ensino, como é o caso de Rodolfo Langhi e Roberto Nardi, no livro *Educação em Astronomia repensando a formação de professores*, no qual discorrem sobre o currículo de astronomia na escola básica. Entretanto, há uma quantidade considerável de trabalhos (dissertações de mestrado e teses de doutorado) que se mostra igualmente preocupada com a situação do ensino de ciências celestes na educação básica, fazendo diagnósticos e constatações sem, no entanto, produzir propostas reais para aplicação em sala de aula, outros, quando o fazem, permanecem na academia, distantes da realidade das escolas.

2. A COSMOLOGIA NO ENSINO MÉDIO: UMA REALIDADE QUE SE DESCORTINA

Segundo LANGHI & NARDI (2013), a astronomia começa a dar seus primeiros passos em direção ao ensino no ano de 1922, com a criação da *comissão 46* da UAI (União Astronômica Internacional) (LANGHI & NARDI, 2013, p. 86) e, mais especificamente na década 1970, com a publicação do documento *Astronomy Educational Material* (Id. Ibid). Mas o Brasil aparece nessa publicação na década de 1980 (Id. Ibid.). O curto tempo da preocupação brasileira em relação ao ensino de astronomia talvez justifique as dificuldades enfrentadas pelo ensino dessa ciência em nossas escolas, como será discutido nesse trabalho.

2.1. Sobre a Oficialização do Ensino da Cosmologia no Brasil

Até o início da década de 1990 o acesso às publicações sobre cosmologia estava restrito basicamente aos livros de divulgação científica e aos artigos e trabalhos acadêmicos. A partir de meados dessa década o acesso a informações sobre esse tema tornou-se cada vez mais fácil com o advento da internet. Podia se esperar com tal facilitação, a consequente melhoria da compreensão dessa ciência. Contudo, esses assuntos continuaram chegando vagamente ao aluno. Até que no final da década de 1990 surgem indicações nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), os quais discutem necessidades urgentes de um novo olhar para o currículo escolar com um tema que vá de encontro às curiosidades dos alunos. Como se pode observar, no contexto do ensino da física como cultura científica.

A Física, por sistematizar propriedades gerais da matéria, de certa forma como a Matemática, que é sua principal linguagem, também fornece instrumentais e linguagens que são naturalmente incorporados pelas demais ciências. A Cosmologia, no sentido amplo de visão de mundo, e inúmeras tecnologias contemporâneas, são diretamente associadas ao conhecimento físico, de forma que um aprendizado culturalmente significativo e contextualizado da Física transcende naturalmente os domínios disciplinares estritos. [BRASIL, 1998, p. 10, parte III],

Embora no trecho acima a preocupação com o ensino de cosmologia ainda apareça no contexto geral do ensino de física e como cultura científica, pelo menos

foi uma sinalização oficial de que esse tema deveria ser tratado no âmbito escolar básico.

Já em seguida, se pode ver numa sinalização mais direta dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (*Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. P 78, Tema 6. Universo, Terra e vida*):

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

Nesse documento a abordagem sobre o ensino de Cosmologia é mais específica, justificando como objeto de interesse dos jovens, o que indica uma necessidade de se renovar o currículo escolar.

2.2. As Dificuldades no Ensino das Ciências Celestes e Perspectivas

Mesmo com um quadro oficial favorável à implantação de um currículo, no qual a cosmologia possa ser tratada não apenas como curiosidade, com o aumento expressivo do interesse das pessoas pelo assunto, como conclui Augusto Damineli “... A quantidade de público que ocorreu aos eventos astronômicos no ano 2009 (2,3 milhões de pessoas em milhares de eventos do Ano Internacional de Astronomia) demonstra o enorme interesse dos brasileiros pelo céu”. (Damineli, in Langhi & Nardi, 2013, P.8). O tema em salas de aula ainda não decola. As causas para o insucesso do ensino das ciências cósmicas são apontadas por diversos pesquisadores, que centram na formação do professor, a maior responsabilidade. Outros apontam os livros didáticos como corresponsáveis, como cita a professora Cristina Leite: “*Segundo Livi, menos de 20% do conteúdo dos 42 livros de 5ª a 8ª série analisados por ela no MEC, versam sobre conteúdos de Astronomia e os poucos que abordam conteúdos dessa natureza contém informações erradas*”. (LEITE 2002, p.13).

Esses apontamentos parecem indicar que o ensino de cosmologia no ensino básico só acontecia pelo particular interesse do professor, pois ainda não havia

interesse pelos editores e nem exigência por parte do principal órgão oficial de ensino. Esse quadro vem se modificando, como será discutido nos capítulos seguintes.

A respeito da necessidade motivacional, Leite cita ainda: “*Há uma pequena quantidade de Astrônomos no Brasil, cerca de 200 (à época)* ¹², *sendo que boa parte deles com formação padrão e sem interesse no ensino da Astronomia, além da falta de experimentos nos livros didáticos*”. (Relato do Prof. João Batista Canale da Universidade Estadual do Rio de Janeiro). (LEITE apud CANALE, 2002). Quanto à quantidade de Astrônomos, em 2009 o sítio do Observatório Nacional apresentou uma relação com 625 profissionais (O.N), o que indica positivamente, um aumento de três vezes em sete anos, comparados aos números apresentados por Canale.

Dados de 2009, ano internacional da astronomia, mostram que apesar de avanços, o cenário do ensino das ciências celestes ainda é desolador. Ver (LANGHI & NARDI, 2009). Mas há uma esperança de melhoria com os últimos acontecimentos, como a criação de cursos de pós-graduação em ensino de astronomia em diversas instituições superiores de ensino, a exemplo do Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia (MPEA), criado pelo Instituto de Astronomia e Geofísica (IAG-USP) na cidade de São Paulo, o qual teve suas atividades iniciadas em 2013 e cujos objetivos gerais podem ser lidos na página de abertura do curso na web.

(...) O MPEA pretende contribuir na formação de professores multiplicadores e difusores dos conhecimentos envolvendo a área de Astronomia. O objetivo central é influenciar mais decisivamente nos ensinamentos fundamental, médio e superior, com ênfase na divulgação científica continuada, na elaboração de material didático e na própria modernização da estrutura curricular. Além disso, temos interesse também em formar recursos humanos para cobrir a área de divulgação científica (jornalistas, planetaristas, etc) e também para atuar em parques temáticos tipo Estação Ciência, Cientec e/ou outros espaços midiáticos que possam vir a ser criados no futuro (...). (<http://www.iag.usp.br/pos/node/8155>, acessado em 20/11/2015)

O recorte de texto acima indica a pretensão de resolver os diversos problemas citados anteriormente, estimulando a divulgação e a preocupação com os diferentes níveis de ensino da astronomia.

¹² Grifo nosso

2.3. A Presença da Cosmologia nos Livros Didáticos de Física no Ensino Médio: Um Breve Recorte.

A fim de encaminhar o nosso produto, buscamos identificar como o assunto cosmologia é tratado nos livros didáticos de física do ensino médio. Deparamos em 2006 com uma breve pesquisa realizada por Jorge Henrique Lopes de Oliveira, da universidade estadual de Maringá (UEPR – BR), na qual esse autor analisou seis livros didáticos de física, de diferentes editoras, editados entre os anos 1993 e 2005 nessa breve análise ele verificou que apenas um dos seis livros faz alguma referência à cosmologia. Incentivados por essa análise, acrescentamos à lista mais três livros com edições de 2005 até 2013, nesses três, encontramos abordagens didáticas em graus diferentes sobre cosmologia.

Das observações podemos verificar que a cosmologia vem aos poucos se tornando presente nos livros de física e, a partir de 2005 começa a aparecer em quase todas as publicações. Algumas obras a abordagem sobre a cosmologia aparece nos últimos capítulos e em outras, a quantidade de páginas destinadas para o tema ainda é muito reduzida, se comparada à quantidade de páginas destinadas a temas como cinemática e termometria. No ano de 2013, alguns livros já apresentaram conteúdos em quantidade substanciais e distribuídos nos três volumes, isto é, respeitando uma determinada ordem nos três anos do ensino médio. Nossa breve análise desses poucos livros evidenciou um sensível aumento de conteúdos de cosmologia apresentados aos alunos. Em muitos casos a preocupação dos editores quanto à inserção das ciências celestes pode ser justificada com o propósito de atender aos critérios de avaliação do PNLD, como exemplo dessas exigências, seguem trechos do edital de 2012 a respeito dos princípios e critérios de avaliação das obras da área de ciências da natureza e suas tecnologias.

“A área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias no currículo do ensino médio brasileiro usualmente é representada por um conjunto de três disciplinas: Biologia, Física e Química. Essas disciplinas escolares fazem parte do currículo, desde a década de 30 do século passado, com a Reforma Francisco Campos (1931) e, contemporaneamente, têm assumido o papel da alfabetização científico-tecnológica na formação dos jovens, com uma ênfase maior na contextualização e integração dos conhecimentos”.

Nesse trecho do edital são especificados os objetivos de cada parcela das três disciplinas representantes da área de ciências da natureza e suas tecnologias.

Além do estabelecimento de objetivos para cada disciplina, esse edital especifica também como os livros serão avaliados, o que mostra uma tentativa clara de uniformização dos conteúdos em nível nacional. No trecho a seguir, podem-se ler os critérios de avaliação em relação às características da Física que devem estar presentes nos livros.

“A Física, como disciplina acadêmico-científica, comporta um conjunto de conhecimentos de grande abrangência, constituído de conceitos e leis que podem ser utilizadas para a compreensão tanto do mais distante, quanto do mais próximo. Com esses conhecimentos tanto podemos criar modelos de universo (...)”

E ainda, nos critérios eliminatórios específicos, cita o que será avaliado nas obras, no item 16:

“trata, sempre de forma adequada e pertinente, considerando os diversos estudos presentes na literatura atual da área, tópicos usualmente classificados como de Física Moderna e Contemporânea e que sejam considerados importantes ou mesmo imprescindíveis para o exercício da cidadania ativa, crítica e transformadora, bem como para a inserção ativa, crítica e transformadora no mundo do trabalho;” (portal.mec.gov.br/pnlem),

De modo análogo, no passado, em muitos casos, os exames de vestibulares ditaram os conteúdos que eram abordados pelos professores, agora os editais do PNLD e do Programa Nacional do Livro didático para o Ensino Médio (PNLEM) estabelecem as diretrizes para os conteúdos básicos que devem aparecer nos livros didáticos cuja distribuição será garantida aos alunos das escolas públicas brasileiras.

3. JUSTIFICATIVAS DAS ATIVIDADES DO PRODUTO PARA APLICAÇÃO EM SALA DE AULA DO ENSINO MÉDIO (UEPS)

Neste capítulo apresentamos as etapas e as justificativas das atividades propostas no produto. Bem como a metodologia utilizada em seu desenvolvimento. A aplicação da UEPS ocorreu, com início meio e fim, em dois períodos, em anos diferentes: o primeiro período ocorreu no quarto bimestre de 2014, mas observou-se que as atividades escolares do último bimestre em nossa escola são prejudicadas por uma série de ocorrências (projetos, provas externas como SARESP¹³ e vestibulares para os alunos do 3º ano do ensino médio). Optou-se então, por aplicar a UEPS no segundo bimestre de 2015. Ainda assim houve dificuldade, em virtude de paralisação das atividades escolares por parte de muitos educadores (as), incluindo, entre eles os da nossa Escola¹⁴, razão pela qual os trabalhos foram concluídos somente no final do terceiro bimestre.

Faremos aqui um breve relato de nossa experiência com a aplicação da UEPS nos períodos citados. Considerando que para Ausubel o mais importante para o êxito da relação ensino-aprendizagem é valorizar o que o aluno traz de conhecimento, três momentos foram suficientes para a nossa experiência.

- a) o Problema: descobrir o conhecimento prévio dos alunos sobre a cosmologia, isto é, suas concepções do Universo;
- b) A proposta de solução do problema: o conjunto de ações promovidas para que os alunos aprendam mais além do que sabem sobre o tema e;
- c) Validação das ações promovidas: avaliação para verificar a validade do que foi trabalhado.

¹³ SARESP (Sistema de Avaliação de Rendimento Escolar do Estado de São Paulo) é uma prova realizada todos os anos, desde 1996, pelos alunos das Escolas do Estado de São Paulo, com objetivos, segundo a Secretaria do estado da Educação de S. Paulo: “(...) de fornecer informações consistentes, periódicas e comparáveis sobre a situação da escolaridade na rede pública de ensino paulista, visando a orientar os gestores do ensino no monitoramento das políticas voltadas para a melhoria da qualidade educacional (...)”.

¹⁴ Essa paralisação (GREVE) que ocorreu em 2015 merece, assim como todas as greves de professores, uma maior explanação dos seus motivos. Embora não o façamos aqui pela natureza de nosso trabalho e por inabilidade específica com o tema, mostra claramente o descaso dos governantes com a Educação pública brasileira e, as greves são instrumentos de última instância que trazem ao debate os graves problemas enfrentados por professores e alunos dessa.

a) O problema

Para observar o conhecimento prévio dos alunos acerca de cosmologia, em 2014 a proposta foi de que eles fizessem uma atividade livre para representar o Universo que eles realmente acreditavam, foi sugerido que eles fizessem através de um desenho, de um texto ou de uma dramatização. A análise prévia dessa atividade evidenciou as dificuldades de concepção já discutidas por estudiosos brasileiros e estrangeiros sobre a temática do Universo: Sérgio Bisch (1998) no Brasil, Nussbaum e Novak (1976) nos E.U.A., Baxter (1989) na Inglaterra, De Manuel Barrabían (1995) na Espanha, Mali e Howe (1976) no Nepal, Nussbaum (1979) em Israel.

A maioria dos alunos apresentou suas concepções na forma de desenho, nos diversos desenhos ficou evidente, uma mistura de concepção ingênua com concepção pseudocientífica ou Ptolomaica (o desenho da Terra rodeada por uma camada de pequenos pontos luminosos numa indicação de estrelas). Dois fatores chamaram atenção, um deles foi a presença maciça do planeta Saturno com os anéis proeminentes no céu escuro, o outro, ilustrações do céu conforme os livros didáticos, mas alguns, com as explicações míticas da bíblia sagrada (do cristianismo). Uma aluna escreveu apenas *“conhecemos do Universo o que ouvimos falar sobre ele”*. Essa resposta nos mostrou claramente a dimensão deficitária do ensino de cosmologia no nível escolar básico. Mostrou-nos a necessidade de debates e da realização de experimentos como finalidade de os alunos compreenderem a validade das teorias que descrevem o cosmos.

No ano de 2015 a atividade acima foi substituída por um questionário (APÊNDICE) com questões de múltipla escolha acerca do Universo e da cosmologia, nesse caso, a identificação das concepções e das dificuldades dos alunos em relação à cosmologia e à astronomia se deu muito mais rapidamente, uma vez que as questões eram compostas de repostas alternativas de múltipla escolha, o que facilitou na coleta dos resultados. Uma comparação com a atividade realizada no ano anterior mostrou a ineficácia desta em relação àquela, no que se refere à identificação das concepções cosmológicas dos alunos, uma vez que o questionário, no nosso entendimento, pouco estimulou a reflexão dos alunos sobre suas respostas. Além do que, uma parcela considerável dos alunos “chutaram” as respostas (não conseguimos medir esse percentual). Mostrou apenas a deficiência do ensino das ciências celestes e sua abrangência na educação básica, isto é, o

quanto os alunos não sabem (os resultados desse questionário foram tabulados na análise do produto APÊNDICE). Sendo assim, para as próximas aplicações buscaremos um meio termo ou a aplicação dos dois instrumentos de verificação e, também fica como sugestão para aqueles professores que desejarem realizar esse trabalho.

b) As ações promovidas

A proposta da UEPS detalhada no produto está composta de diversas atividades entre elas: pesquisas, atividades em sala de aula, vídeos, simulações e experimentos.

- Pesquisas: esta atividade foi centrada em quatro galáxias (NGC1357, NGC1832, NGC2775 e NGC2903) escolhidas de forma a se obter facilmente a relação linear entre distância e velocidade para que a constante de Hubble desse um valor mais próximo do atual. Essa atividade foi sugerida no final de uma aula expositiva sobre métodos de determinação de distâncias astronômicas e unidades de medidas adotadas em astronomia. A atividade foi sugerida como trabalho de pesquisa em grupo, onde os alunos deveriam apresentar algumas informações sobre cada uma das galáxias: (1) a classificação no NGC, (2) a distância entre ela e a Terra e (3) o comprimento de onda observado a partir da Terra. As informações trazidas pelos grupos foram utilizadas em outra etapa para o cálculo do desvio para o vermelho e cálculo das velocidades de recessão das galáxias para, posteriormente determinar a constante de Hubble.
- Atividades: foram propostas resoluções de questões relacionadas aos temas estudados, tais como: os cálculos do redshift, cálculos de velocidade radial de galáxias, construção do gráfico das velocidades das galáxias em função de suas distâncias e determinação da idade do Universo.
- Vídeos e simulações: Para o fechamento de cada tópico da proposta, foram exibidos vídeos de curta duração (sobre o Universo e o efeito Doppler) e simulações computacionais sobre modelos atômicos e espectro luminoso.
- Experimentos: Os alunos realizaram quatro experimentos: cálculo de distâncias por observação da paralaxe, confecção de um protótipo de um

espectroscópio, simulação do efeito Doppler e o esticamento do elástico. Esses experimentos estão justificados no item 3.1, a seguir.

c) A validação das ações

O processo de avaliação ocorreu ao longo das aulas, cada atividade foi avaliada e em seguida discutida com os alunos. Ao final, fez-se uma avaliação geral com o objetivo de verificar a totalidade de assuntos assimilados pelos alunos.

3.1. Justificativa do Experimento da Medida de Distância Por Paralaxe

Nosso objetivo é discutir o procedimento que foi realizado por E. P. Hubble na década de 1920 que culminou com a comprovação de que as galáxias por ele observadas estavam afastando-se umas das outras de acordo com uma relação matemática bem definida, isto é, de que a velocidade de afastamento entre as galáxias é diretamente proporcional à distância entre elas, as observações de Hubble indicaram que quanto maior a distância entre as galáxias, maior é a velocidade de recessão entre elas. As conclusões de Hubble sugerem que o Universo está em expansão.

Como a lei de Hubble relaciona as grandezas distância e velocidade, esperávamos que os alunos perguntassem - como essas grandezas são determinadas? Isto é, como os cientistas sabem que certa galáxia se encontra a uma distância de, digamos, cinco megaparsecs da Terra? Como não temos no ambiente da escola básica instrumentos para observação e medição com precisão necessária de tais dimensões, propusemos uma atividade quase lúdica para mostrar aos alunos que existem métodos não tão complexos para se determinar distâncias de objetos de modo indireto, pois muitos de nossos alunos pensam em duas possibilidades em relação aos métodos aplicados pela ciência: ou não é verdade que os cientistas calculam essas distâncias, ou que usam métodos tão complexos que são incompreensíveis para não cientistas.

A proposta apresentada em sala de aula sugeria que os alunos saíssem da sala, indo ao pátio da Escola e lá, cada um, tomando à mão um transferidor adaptado com um pedaço de canudinho de refrigerante, escolhesse um objeto para determinar sua distância, (conforme apêndice). Embora tenham sido realizadas discussões sobre a paralaxe e sua respectiva definição a atividade proposta não tem

intenções de esclarecer detalhadamente os métodos de medidas por paralaxe nem oferecer precisão das medidas obtidas, uma vez que os alunos obtêm a distância entre objetos por eles escolhidos.

A fim de auxiliar na melhor compreensão dos alunos sobre as medidas por paralaxe, analisamos juntamente com eles os resultados obtidos pelos grupos, mostrando os vários erros que se propagam durante suas observações, tais como o deslocamento do observador em relação ao objeto, a alternância dos olhos entre duas visadas e o uso de uma única medida para afirmar a distância. Além disso, os alunos determinaram o valor médio das medidas obtidas, obtendo, assim, o melhor valor.

Após a realização das discussões os alunos mediram com uma trena a distância que acabaram de determinar indiretamente e verificaram quais grupos conseguiram o valor mais próximo da medida real. Durante as discussões sobre os resultados encontrados, muitos alunos ficaram preocupados em “perder nota” porque seus valores ficaram muito distantes do valor médio obtido por medição direta com a trena, esses, foram incentivados a refazerem o experimento, para assim perceberem que não se tratava de erro no método, mas sim de erro na operação. Usou-se como referência um texto da professora Maria de Fátima Oliveira Saraiva et al, da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). A sequência das atividades está descrita na UEPS, no produto.

3.2. Justificativa do Experimento do Elástico para Analogia Com a Lei de Hubble

Um experimento trabalhado em sala de aula, cujo objetivo foi de os alunos observarem o comportamento de um elástico sendo esticado, isto é, determinar constante de esticamento dele e concluir que a velocidade do afastamento entre os pontos marcados no elástico é proporcional à distância entre eles e com isso, perceberem uma analogia com a expansão do Universo. Isto é, o esticamento do *tecido espaço-tempo*. A seguir, são apresentadas justificativas da realização dessa tarefa, com destaque ao uso dos aparelhos de celular dos alunos.

É comum o uso da analogia de balões inflando para representar a expansão do Universo¹⁵. Nessa analogia, além da dificuldade de se medir as distâncias entre os pontos, corre-se o risco de o aluno conceber um universo oco com as galáxias distanciando-se umas das outras apenas na superfície da esfera. Portanto, torna-se extremamente necessário que se justifique esse tipo de analogia, explicando para os alunos que além dos pontos marcados na superfície do balão, no seu interior também existem pontos que estão se afastando, tal como frutas no interior de um bolo, que se distanciam umas das outras conforme ele vai crescendo.

Outro fator que pode levar os alunos a conceberem a expansão do universo de modo equivocado no experimento com balões é a velocidade de recessão, os quais podem entender que essas velocidades têm relação com as Galáxias, isto é, como se elas fossem dotadas de uma espécie de “motor” que as propulsionam para longe das demais. Mais uma vez é necessário explicar que a lei de Hubble apenas descreve o afastamento mútuo das Galáxias como um “esticamento” do espaço-tempo, embora o próprio Hubble não quisesse arriscar em explicar tal fenômeno, ele apenas descreveu o distanciamento entre as galáxias, mostrando que a velocidade desse afastamento é diretamente proporcional à distância entre elas.

A analogia dos balões ainda causa dificuldades para a discussão do modelo do big bang uma vez que tal analogia menciona o fato de as galáxias retrocederem até o instante zero, para justificar a “explosão” que deu origem ao Universo. Nesse caso, os alunos podem imaginar, erroneamente, que as galáxias se juntariam num único ponto da superfície, não considerando a distância a um ponto singular, cujo modelo explica que foi onde tudo começou. A respeito do retrocesso das galáxias, o professor Martins nos alerta que:

“(...) as galáxias não iriam se aproximando indefinidamente, porque elas e as estrelas iriam se desfazendo. O que se poderia afirmar é que, se a expansão não partiu de certa densidade máxima, e se a matéria se conserva, a matéria estaria agrupada em uma região muito pequena do espaço”. (MARTINS, 1998, p. 293).

Nesse caso, quando as distâncias entre os componentes do espaço tendem a valores próximos de zero, não faz mais sentido falar em galáxias, pois seus constituintes materiais são desfeitos em gás, poeira e energia.

¹⁵ Analogia proposta pelo Astrônomo inglês Sir Arthur S. Eddington em 1933 em seu livro “A expansão do Universo”, ver BAGDONAS, 2015.

3.2.1. Esticamento do Elástico

A proposta apresentada na UEPS sugere que um grupo de alunos use uma borracha dessas de amarrar dinheiro (conhecida por muitos como liguinha ou gominha), marque pontos na mesma e filme um colega esticando-a paralelamente à escala de uma régua. Em seguida use o filme para observar o tempo transcorrido durante o esticamento do elástico. De posse dos intervalos de tempo e dos deslocamentos entre os pontos esse grupo de alunos pode: calcular as velocidades de afastamento entre os pontos, construir um gráfico das velocidades em relação às distâncias e determinar a constante de esticamento do elástico. Essa atividade está detalhada no produto (apêndice). Com o experimento proposto acima, espera-se que os alunos: - percebam a relação entre a velocidade e a distância entre os pontos - observem que os pontos marcados no elástico se distanciam uns dos outros não porque eles têm velocidades, mas sim, porque o elástico estica e os leva para posições cada vez mais distantes – Não faz sentido, portanto, usar o termo velocidades dos pontos e sim velocidade do afastamento entre eles. Já que a intensão é fazer analogia com a expansão do Universo, falamos em velocidade de afastamento entre as galáxias e não velocidade das galáxias.

Apesar de ser um experimento que representa o esticamento linear, o aluno pode intuir que numa analogia com o espaço tridimensional, todos os pontos desse espaço irão afastar-se uns dos outros. E ainda, pode dar ao aluno a ideia de um evento inicial (Big Bang) e a concepção da visão interna do Universo. Ainda assim há necessidade de interferência do Professor no sentido de maiores esclarecimentos: a questão da singularidade que não se evidencia no experimento, uma vez que os pontos do elástico não começam a partir de um único ponto, nesse caso, o professor deve justificar que a análise deu início quando os pontos já possuíam certa distância uns dos outros. É necessário esclarecer também que ter uma origem no tempo não implica ou não deve ser confundido com um centro espacial do Universo.

O experimento descrito é uma proposta direcionada especificamente aos alunos do ensino médio, logo, possibilita uma exploração mais abrangente dentro da física e da matemática, cujos resultados numéricos auxiliam na compreensão dos fenômenos. Ele é diferente de outros exemplos de autores¹⁶ que também sugerem

¹⁶ Saraiva (2003), Moreno e Deutsua (2008) e Soares (2014).

atividades com elástico como analogia da expansão do Universo, pois eles não o fazem com indicação direta ao aluno do ensino médio.

3.3. Justificativa do Experimento Sobre o Efeito Doppler Sonoro

A realização do experimento do efeito Doppler, detalhado no produto da UEPS tem por objetivo indicar aos alunos, com base numa *analogia*, que a variação do comprimento de onda devido ao movimento de uma fonte em relação ao observador, possibilita a determinação do chamado desvio para o vermelho e, conseqüentemente, na determinação da velocidade da fonte que se afasta ou se aproxima. Apesar de esse fenômeno explicar os movimentos das estrelas e mesmo da rotação de galáxias, ainda é controversa a sua aplicação para justificar a expansão do Universo, pois nesse caso, não são as galáxias que se movem umas em relação às outras, mas sim o espaço-tempo que expande.

A proposta desse experimento consistiu na fixação de um zumbidor (alarme de portas) na extremidade de um barbante e a outra extremidade amarrada a um cabo de vassoura. A experimentação se deu com um aluno girando o conjunto ao redor do corpo e acima da sua cabeça de modo que os outros alunos da sala percebam a diferença no som quando o zumbidor muda de posição em relação a eles, isto é, alterando a frequência quando ele afasta ou se próxima (ver descrição completado produto).

3.4. Justificativa do Experimento do Espectroscópio

Após a proposição de uma questão (situação problema), os alunos realizam um experimento onde confeccionam o protótipo de um espectroscópio. Esse experimento foi adaptado a partir do exemplo sugerido no caderno do aluno, 3ª série/vol. 2 (Governo do Estado de São Paulo/Secretaria da Educação, 2014/2017). Para a confecção, propõe-se o uso de materiais alternativos como forma de reduzir custos, por isso foram sugeridos: tubos de pvc, cd fora de uso, papel vegetal e cola), de modo a se observar o espectro da luz. Após a confecção do dispositivo os alunos são estimulados a observar luz de diferentes fontes, como a de lâmpadas incandescentes, de fluorescentes, de objetos expostos ao sol e dos displays de seus aparelhos de celular. Com as observações, em nossa experiência, os alunos relataram diferentes espectros (contínuo e discreto), cuja explicação se deu em aula

expositiva logo após as observações. Nessa aula sobre espectroscopia, os alunos foram levados a compreenderem a formação do espectro luminoso com base no modelo atômico da transição dos elétrons nos diferentes níveis. Faz-se também nessa aula a distinção entre os espectros de emissão e de absorção (ver produto).

Como a luz tem também comportamento ondulatório, faz-se analogia entre o espectro luminoso de uma fonte em repouso ou em movimento com o efeito Doppler para o som, justificando assim, o desvio para o vermelho.

Depois de realizados os experimentos citados, os alunos podem responder às questões: como se calcular velocidades radiais de galáxias? Como se determina a composição química de um corpo celeste? Além de poderem responder a questões como estas, os alunos estão em melhores condições para a realização das atividades sobre cálculo da constante de Hubble e da idade do Universo e para debaterem sobre a expansão do Universo e sobre as teorias de sua origem.

PARTE II

A COSMOLOGIA NO CONTEXTO DA CIÊNCIA

4. COSMOLOGIA: BREVE RESGATE HISTÓRICO

Como surgiu o Universo? O que há além do céu? Que mecanismo mantém os corpos celestes no céu? Essas perguntas parecem retomar aos primórdios da civilização. Com o decorrer das eras a humanidade inventou a escrita, a lógica, a ciência, a matemática etc. Essas invenções e descobertas levaram a outras invenções e a outras descobertas. Contudo, essas e outras perguntas continuam sendo feitas e suas respectivas respostas sendo buscadas. Em se tratando do Cosmos¹⁷, muitas são as tentativas de dar respostas convincentes, sejam elas de ordem científica ou metafísica. Por isso a cosmologia e a cosmogonia guardam interesses comuns, tais como: como tudo surgiu? Embora Mario Novelo, nos ensina o quão difícil é a tarefa de definir a palavra “cosmologia”, com o argumento de que ela depende de que grupos ou instituições dela desejam se apropriar. Mesmo assim apresentamos a seguir algumas definições da cosmologia e, para termos uma referência sempre que dirigirmos nossa atenção para essa área do saber da construção humana, escolhemos uma dessas definições.

Para Maria Cristina B. Abdalla, Cosmologia é: *Ramo da Astronomia que se dedica às questões fundamentais sobre Universo. Estuda sua estrutura e os princípios físicos e matemáticos que o regem, preocupando-se tanto com a sua origem como com sua evolução.* E cosmogonia: *“Corpo de doutrinas e princípios (religiosos, místicos, científicos) que pretende explicar o princípio do universo (Abdalla, 2006)”*.

Ao discutir as dificuldades de se definir a cosmologia Novelo cita, entre outras, a definição de P.J.E. Peebles, *“como a mais aceitável pela maioria da comunidade científica”* (NOVELO, 2006, p. 59). Assim, Peebles apresenta uma definição de cosmologia física, como.

A Cosmologia física é a tentativa de dar sentido à natureza de larga escala do mundo material que nos rodeia, utilizando os métodos das ciências naturais (...) Na física, encontramos a tradição mais antiga e honrosa, que busca entender de onde o mundo vem, para onde vai e por quê. A Cosmologia herda essa tradição, em parte por desígnio, e em grande parte porque é para aí que a astronomia e a física a conduzem. (Novello, p. 59, op. cit).

¹⁷ “Cosmos” termo relacionado ao universo, criado pelos pitagóricos (seguidores de Pitágoras de Samos (572 – 497 a.C.) para designar “ordem racional, simetria e beleza” (OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2014, p.3).

As definições anteriores colocam a cosmologia atrelada à física. Concordamos com Novello, que a cosmologia não deve ser considerada apenas um capítulo da física e que ela deve possuir uma estrutura própria. Mas para o propósito do nosso trabalho, ficaremos com a definição de Peebles, em vista do nosso interesse em apresentá-la aos estudantes do ensino médio, em seus aspectos mais gerais no contexto das aulas de física e não o interesse de aprofundarmos nas questões filosóficas que ela suscita.

4.1. A História da Cosmologia em Três Momentos

Faremos uma breve incursão na História da percepção humana do céu em três momentos. Mesmo não sendo o nosso objetivo aqui, tratar dos detalhes da História da astronomia, devido a sua rigorosa exigência para não especialistas nesse ramo, desse modo, apenas sintetizamos informações trazidas até nós através dos Historiadores da ciência.

Entendemos que o recurso da incursão na história da cosmologia apenas contextualiza o objetivo final, isto é, descrever um universo diminuto em eras remotas e que aos poucos foi tomando dimensões cada vez maiores graças aos avanços tecnológicos dos instrumentos de observação. Como o telescópio de Monte Wilson, o mais avançado das primeiras décadas do século xx, o qual possibilitou ao astrônomo Edwin Hubble a observar o afastamento mútuo de galáxias, sugerindo que o Universo está em expansão.

É importante ressaltar que como analisaremos um período de tempo muito longo se comparado com o tempo de vida do ser humano, as descobertas que culminaram com a construção da cosmologia como ciência toma uma aparência linear. Embora saibamos que em ciência isso não é tradição (a exemplo de Aristarco e Copérnico que com uma diferença de quase 18 séculos propuseram um modelo em que a Terra não figura como centro do universo). E, além disso, descobertas e invenções nem sempre podem ser atribuídas a pessoas, lugares e tempos como eventos singulares, pois o mais comum é que uma descoberta ou invenção sofra influências de outras pessoas em outros locais ou épocas e que, por variadas razões acabam concluídas e ou atribuídas ao nome de uma pessoa ou grupo específico.

Consideramos o primeiro momento aquele que remonta de três mil anos a.C. até a cosmologia Ptolomaica, com a Terra no centro do Universo, denominado

modelo geocêntrico. O segundo momento, aquele que se inicia com a proposta de Nicolau Copérnico que ficou conhecida como modelo heliocêntrico, que situa aproximadamente entre os séculos XVI e XIX. E o terceiro momento, destacando os trabalhos de Hubble na década de 1920 até a descoberta da radiação de fundo em micro-ondas na década de 1960.

4.1.1. Dos Mitos Cosmogônicos à Cosmologia Científica

A tentativa de entender o mundo levou os povos a darem explicações diversas, muitas delas baseadas em suas crenças, como o mito da criação que povoa o ocidente e que é a base das religiões cristãs, de que Deus criou o mundo e tudo que nele há, em seis dias e descansou no sétimo dia (BÍBLIA SAGRADA, livro de gênesis). Sobre mitos importantes ao longo dos séculos, é importante a leitura de VERDET, 1987.

Há três mil anos antes de Cristo, parece que os sumérios¹⁸, povos que habitaram a Mesopotâmia (região do oriente médio onde hoje situam os países, Irã e Iraque), deram um passo no sentido de interpretar a natureza com embasamento mais físico do que metafísico. Destaque às observações desse povo que sugere a forma da terra como a de um barco emborcado na água (gufa), em cujo casco floresceu a humanidade. Segundo tal modelo as cadeias de montanhas sustentam o firmamento com o Sol sobre a Terra durante o dia e debaixo dela à noite (RONAN, vol. I, 1988, P. 49).

Essa maneira de explicar o mundo evidencia um problema que só foi sistematizado como ciência no século XVII pelo físico inglês Isaac Newton, a questão de como o sol girava ao redor da Terra. Quem o segurava? Mas, antes de Newton, muitas teorias foram elaboradas para tentar dar conta de explicar o Universo. Em 280 a.C, por exemplo, Aristarco de Samos (310 – 230 a.C.) propõe um universo centrado no Sol, essa ideia foi suplantada por um sistema com grande embasamento matemático, sintetizado por Claudio Ptolomeu, que ficou conhecido por sistema geocêntrico.

¹⁸ Registros Históricos indicam que nesse período outros povos como os chineses e os maias, também já observavam os movimentos dos astros e usavam esses conhecimentos, por exemplo, na confecção de calendários.

4.1.2. A Terra Como Centro do Universo

Mesmo hoje, século XXI, com tantos avanços tecnológicos, aceitar o movimento diário e anual da Terra ao redor do Sol não é uma atividade mental simples para a maioria das pessoas, afinal, tais movimentos não são sentidos. O que leva muitas pessoas a pensarem como os filósofos aristotélicos, os quais argumentavam a respeito do movimento de rotação dizendo que se a Terra girasse uma pedra lançada verticalmente para cima não voltaria para a mão de quem a jogasse, mas cairia numa posição oposta a esse movimento.

O modelo de mundo com a Terra parada no centro do Universo é denominado geocêntrico. Tal modelo considerava três regiões: a própria Terra, a região na qual estavam o Sol, a Lua e os planetas e a terceira, a região das estrelas fixas. Ptolomeu utilizava o método dos epiciclos com a finalidade de descrever a regularidade dos movimentos dos astros ao redor da Terra, tal método consistia em imaginar círculos ao redor da Terra sobre os quais os demais corpos celestes estavam fixados. A disposição desses círculos possibilitava *com razoável precisão* a descrição dos movimentos desses corpos na esfera celeste.

Sobre o trabalho de Ptolomeu, MARTINS esclarece, “(...) Ptolomeu aperfeiçoou a argumentação de Aristóteles: se a Terra girasse, não deveriam todos os corpos de sua superfície serem atirados para longe dela, por causa de sua rotação rapidíssima? (...)” (COPÉRNICO, 1990, p. 32). Além de justificar a Terra inerte o astrônomo, Claudio Ptolomeu (87 – 150 d.C.) compartilhava das ideias de Aristóteles quanto a negação do movimento de translação da Terra, essa, explicava que o fato de corpos pesados caírem em direção ao centro da Terra tornava-a o centro do mundo e não um corpo circundando outro.

O geocentrismo sustentou-se até o século XVI, quando já não conseguia mais dar conta de explicar satisfatoriamente diversos fenômenos, entre eles, o movimento retrógrado de Marte. O modelo ptolomaico, herdado em grande parte de Hiparco de Nicéia (160 -124 a.C.) foi sintetizado em treze volumes e conhecido como almagesto, do árabe, al Magister, significando o maior. Há indicações de que a obra de Ptolomeu tenha sido a maior fonte de pesquisas dos astrônomos até o início do renascimento¹⁹ (SINGH 2006, MARTINS 1990 e RONAN 1987).

¹⁹ Período que se inicia aproximadamente no final do século XIV e se encerra no início do século XVII.

4.1.3. O Sistema de Copérnico

Quando o geocentrismo de Ptolomeu começa a encontrar dificuldades em explicar os movimentos dos corpos celestes, entre as dificuldades do geocentrismo estava o movimento dos planetas, que ao não manterem sempre a mesma distância em relação à Terra, sugeria que esta poderia não ser o centro. Na primeira metade do século XVI o Astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473 – 1543) propôs um sistema que trocava o Sol e a Terra de suas posições, para tanto, fez uma série de sete exigências, sendo que na terceira dizia: *“Todos os orbes giram em torno do Sol, como se ele estivesse no meio de todos; portanto, o centro do mundo está perto do Sol”*, (COPÉRNICO, 1990 p. 104)²⁰. Esse sistema ficou conhecido como Heliocêntrico o que sugere o Sol no centro do Universo, mas na exigência citada acima Copérnico usou a palavra “perto” o que indica apenas que ele tirou a Terra do centro do mundo como propunha o sistema anterior e não que tenha colocado o Sol em seu lugar.

A proposta de Copérnico não foi aceita de imediato entre os Astrônomos, afinal ela teria que ser atraente o suficiente para vencer o modelo Ptolomaico, com sua matemática sofisticada.

Duas razões justificam as dificuldades enfrentadas pelo sistema heliocêntrico: uma, é que o sistema proposto por Copérnico era um tratado matemático menos consistente (exposto no *De Revolutionibus*)²¹ do que o de Ptolomeu (no *almagesto*), a outra, era a necessidade de uma nova física, diferente da de Aristóteles, até então bem estabelecida. Conforme explica Martins, “(...) Copérnico não resolveu os problemas básicos do heliocentrismo: mostrar que a Terra se move desenvolver uma dinâmica não-aristotélica, estabelecer uma teoria da gravidade (...)” (COPÉRNICO, 1990, p. 79). Mas o novo sistema teve que esperar pelos acontecimentos que vieram nos 300 anos seguintes, e que contaram com os trabalhos desenvolvidos por pelo menos cinco colaboradores: (1) TychoBrahe (1546 – 1601), com suas observações precisas²² dos planetas as quais permitiram a (2) Johannes Kepler (1571 – 1630) concluir as três leis do movimento planetário, cuja primeira lei estabelece que *“os planetas giram em torno do Sol em trajetórias elípticas com o Sol ocupando um dos*

²⁰ COMENTARIOLUS, tradução e notas de Roberto de Andrade Martins.

²¹ *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, Livro de Copérnico que embora tenha ficado pronto em 1530 só foi publicado em 1543, ano da sua morte.

²² Medidas de ângulos com precisão de quatro minutos de arco.

focos"; (3) Galileu Galilei (1564 – 1642) que ao observar Júpiter com uma luneta de trinta vezes de aumento, verificou que esse planeta possuía três luas girando ao seu redor como se formassem com Júpiter um pequeno sistema planetário; (4) Isaac Newton (1642 – 1727) que desenvolveu entre outras, a lei da gravitação universal, concluindo que entre dois corpos massivos atua uma força de atração mútua que depende do produto de suas massas e do inverso do quadrado da distância que os separa. Aliás, essa lei explica parte de um antigo problema, aquele que questionava como os planetas eram mantidos em seu giro ao redor da Terra (sistema geocêntrico) e do sol (sistema heliocêntrico); (5) William Herschel (1738 – 1822) cujas observações culminaram com descoberta do planeta Urano e na conclusão de que o Universo era muito maior do que se imaginava à época (observou as nebulosas, objetos propostos por Immanuel Kant como os universos-ilhas) e, juntamente com sua irmã Caroline concluiu que "(...) *a Via Láctea tinha a forma lenticular, como um disco voador, com o Sol no centro*" (DAMINELLI, 2003, p. 54).

Para uma visão sintética comparando os modelos de Ptolomeu e de Copérnico, apresentamos a seguir uma tabela de Simon Singh, (SINGH, 2006 p.42). Os "vês" indicam sucesso e os "chis", o insucesso do modelo.

CRITÉRIO	MODELO CENTRADO NA TERRA	SUCESSO
1. Bom senso.	Parece óbvio que tudo gira em torno da Terra.	V
2. Consciência de movimento.	Não detectamos nenhum movimento, portanto, a Terra não pode estar em movimento.	V
3. Cair no solo.	A centralidade da terra explica por que objetos parecem cair ao solo, ou seja, os objetos estão sendo atraídos para o centro do universo.	V
4.Paralaxe estelar	Não se detecta a paralaxe estelar e sua ausência é compatível com a terra estática e um observador estacionário.	V
5.Previsão de órbitas planetárias.	Muito aproximadas, as melhores já obtidas.	V

6. Movimento retrógrado dos planetas.	Explicado com deferentes e epiciclos.	V
7. Simplicidade.	Muito complicado: epiciclos deferentes, equantes e excêntricos.	X
MODELO CENTRADO NO SOL		
1. Bom senso.	É necessário um salto de imaginação e lógica para ver que a Terra pode girar ao redor do Sol.	X
2. Consciência de movimento.	Não percebemos nenhum movimento, o que não é fácil de explicar se a Terra está em movimento.	X
3. Cair no solo.	Não explicação óbvia para o fato de os objetos caírem ao solo num modelo em que a Terra não fica no centro.	X
4. Paralaxe estelar	A Terra se move assim a ausência aparente de paralaxe estelar deve ser decorrente das imensas distâncias; espera-se que a paralaxe seja detectada com equipamento melhor.	?
5. Previsão de órbitas planetárias.	Bons resultados, mas não tão bons como no modelo centrado na Terra.	?
6. Movimento retrógrado dos planetas.	Uma consequência natural do movimento da Terra e do nosso ponto de vista.	V
7. Simplicidade.	Muito simples – tudo percorre círculos.	V

Comparação dos modelos geocêntrico e heliocêntrico – autorizado pela ed. Record em comunicação eletrônica em 09/09/2015.

O universo centrado na Terra apresentava amplas vantagens em relação ao centrado no Sol, como se pode ver na tabela acima, evidenciando a necessidade dos trabalhos que se seguiram para a consolidação do heliocentrismo.

4.2. Alargamento das Fronteiras do Mundo

O universo²³ dividido em três regiões como proposto por Ptolomeu certamente é maior do que aquele imaginado há cinco mil anos pelos babilônios, mas, muito menor se comparado com os modelos que se seguiram. O universo copernicano, por exemplo, já se mostrava maior, embora sua fronteira ainda fosse a das estrelas fixas. Mas foi Herschel, graças aos avanços da física que permitiram a construção de telescópios maiores, quem definitivamente viu um universo muito maior do que se pensava há muito tempo, ao tentar enxergar os mundos ilhas, propostos pelo filósofo alemão Immanuel Kant (1724 – 1804), (SINGH, 2006 e OLIVEIRA FILHO et al, 2014). Herschel observou um conjunto de estrelas com um formato achatado que, mais tarde ficou conhecido como Via Láctea. Além disso, observou objetos nebulosos (os universos ilhas), que se imaginavam estarem fora da nossa galáxia.

Apesar de W. Herschel ter determinado as distâncias de muitas estrelas da nossa galáxia, usando como unidade a distância da estrela sirius, denominada por ele de “*siriômetro*”, ele não estabeleceu a relação entre essa unidade e o quilômetro. Foi somente em 1838 que o astrônomo alemão Wilhelm Bessel (1784 – 1846), se tornou a primeira pessoa a determinar a distância até uma estrela (61 Cisne, com paralaxe de 0,6272 segundo de arco), estimando uma distância de cem trilhões de quilômetros, um valor assustadoramente maior do que o diâmetro da Terra, calculado por Eratóstenes há vinte séculos (SINGH, 2006, p.166). Esse resultado mostrou ao mundo que as estrelas não são fixas, pois sua paralaxe fora observada, algo que não aconteceu nos tempos de Ptolomeu nem nos de Copérnico (dada a carência de instrumentos observacionais), além de ter “destronado” de vez a Terra como o centro do mundo.

No início do século XX, dois grupos de astrônomos estadunidenses disputavam a questão das dimensões do Universo. De um lado, um grupo liderado pelo Astrônomo Harlow Shapley (1885 – 1972), acreditava dispor de provas de que a Via Láctea era o próprio Universo e que as nebulosas espirais observadas eram apenas pequenas nuvens de gás no interior de nossa galáxia. Do outro, o grupo

²³ Daqui para frente, utilizaremos a distinção de (RIBEIRO & VIDEIRA, v. 2, n. 4, p. 519-35, 2004). Para o universo, conforme: Considerando que há diversos universos para representar o Universo, isto é, universo com “u” minúsculo está relacionado com os diversos modelos e teorias que buscam uma representação do Universo real com “U” maiúsculo o qual será sempre “incognoscível”.

liderado pelo também Astrônomo Heber D. Curtis (1872 – 1942) defendia um Universo muito maior, com as nebulosas idênticas à nossa galáxia e espalhadas pelo espaço, como defendia Kant na teoria dos mundos ilhas. As posições desses grupos chegaram a um ponto de acirramento que, segundo Singh, em abril de 1920 os dois opositores debateram suas ideias publicamente no evento que ficou conhecido como “o grande debate”. Embora esse debate não tivesse um vencedor, os dois lados expuseram elementos importantes para a compreensão do Universo, sabe-se que Shapley estava correto quanto à forma da Via Láctea, mas *muito menor* do ele previa, pois, segundo Damineli - *“Shapley errou para mais, por ter desprezado o efeito da poeira interestelar que fazia as estrelas parecerem mais fracas e distantes do que eram na realidade”* (DAMINELI, 2003 p.68 e 69).

A resposta ao grande debate começa a dar sinais positivos em 1923 quando Hubble observou uma estrela variável na nebulosa de Andrômeda e deduziu sua distância, encontrando 900 mil anos-luz, essa distância era maior do que o diâmetro da Via Láctea, determinado anos antes por Shapley. Agora, já nas duas primeiras décadas do século XX, a visão de Universo toma uma nova configuração: a) A Terra já não é mais o centro do Universo como propôs Ptolomeu; b) O Sol, nunca fora (como já discutido antes, Copérnico disse apenas que o centro do mundo devia estar perto do Sol); c) Shapley colocara temporariamente o centro do Universo na Via Láctea sendo ela própria o Universo. Depois da descoberta de Hubble, agora o Universo volta a ficar sem um centro, muito maior e mais povoado.

4.3. O Universo em Expansão

A determinação das distâncias no Universo começou há muito tempo, os antigos astrônomos já dispunham de métodos engenhosos, embora com baixa precisão devido aos seus instrumentos de medida e de observação, muitos deles consistindo em instrumento de obtenção de ângulos. Até por volta do século XV as observações eram realizadas a olho nu, tomando um impulso revolucionário com o uso da luneta por Galileu em 1610 para observar o céu (SINGH, 2006). A partir daí os telescópios atingiram graus de precisão e de aumento cada vez maiores. Além da inovação tecnológica para a obtenção de paralaxes cada vez menores permitindo assim a determinação de distâncias maiores, foram desenvolvidos métodos e instrumentos para a determinação de velocidades de objetos distantes, entre eles, o

espectroscópio que ao analisar a luz proveniente de um corpo celeste, permite informar se ele afasta-se ou aproxima-se de nós, como também, permite por comparação, saber a composição química daquele corpo. No próximo capítulo apresentaremos algumas técnicas para a obtenção de medidas importantes, com as quais Hubble concluiu que o Universo está em expansão.

5. CAMINHOS DA DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE EXPANSÃO DO UNIVERSO

Neste capítulo são descritos os principais elementos para se compreender de que maneira foi determinada a constante de Hubble, isto é, como Edwin P. Hubble e Milton Humanson concluíram que as galáxias estão afastando umas das outras. Veremos que além de utilizarem um telescópio avançado, tiveram que aplicar métodos inovadores que os auxiliaram na tarefa, como o método do desvio para o vermelho para determinação de velocidades radiais de galáxias e o método da luminosidade para determinar distâncias.

5.1. Obtendo Medidas Astronômicas

A Astronomia é acima de tudo uma ciência observacional, ela tem seus próprios métodos e também utiliza os métodos experimentais das demais ciências como os da física e os da química. As principais grandezas utilizadas pela astronomia e pela astrofísica são: as distâncias entre os corpos celestes (especialmente entre eles e a Terra) e a intensidade de luz (radiação eletromagnética) que emana ou é refletida a partir desses corpos e que atingem a Terra. Para a obtenção de tais grandezas, muitos métodos são desenvolvidos. A seguir citamos alguns desses métodos, muito deles, como o do espectro luminoso (espectroscopia), só foram possíveis com os avanços da física moderna.

5.1.1. Medindo distâncias

Os astrônomos usam diversos métodos para determinar as distâncias dos objetos celestes, que dependem do quão distante estão os corpos. A seguir apresentamos alguns descrevemos alguns desses métodos.

- A paralaxe trigonométrica:

Quando olhamos nosso dedo indicador contra uma parede, alternando os olhos (ora o direito fechado e o esquerdo aberto, ora o inverso), observamos

que o dedo muda de posição em relação à parede. Entre as retas que ligam nossos olhos às posições do dedo forma um ângulo que diminui com o aumento da distância do objeto a ser observado. Esse método é usado para a obtenção de medidas de distâncias astronômicas. A precisão dessas medidas depende dos instrumentos utilizados na obtenção dos ângulos (paralaxe). Como no passado esses instrumentos eram rudimentares comparados aos da atualidade, as dimensões do Universo no passado eram estimadas muito menores do que as de hoje.

- Método das variáveis cefeídas:

Algumas estrelas como as delta do Cefeu, tem seu brilho pulsante, isto é, aumenta e diminui periodicamente. O brilho de uma estrela está relacionado à sua luminosidade ou magnitude absoluta (M_{abs}), que é a quantidade total de energia que ela irradia por unidade de tempo. Já a quantidade de energia emitida por unidade de tempo por unidade de área é o fluxo da estrela e está relacionado à magnitude aparente (M_{ap}). A relação entre essas duas magnitudes permite calcular a distância da estrela até nós²⁴.

- Relação Tully-Fisher:

Consiste em medir a velocidade de rotação de uma galáxia e estimar sua distância uma vez que essa é proporcional à luminosidade a qual é maior quanto maior a velocidade de rotação da galáxia.

Existem outros métodos como: da paralaxe espectroscópica, da galáxia padrão, das supernovas e o método da lei de Hubble que são utilizados pelos cientistas. A maioria deles utiliza uma fonte com magnitude absoluta para determinar sua distância.

5.1.2. Medindo Velocidade Radial

Os cientistas perceberam que poderiam usar o efeito Doppler associado ao espectro de uma estrela para calcular sua velocidade na linha de visada, aproximando-se ou afastando-se da Terra.

²⁴ $M_{ap} - M_{abs} = -5 + 5 \cdot \log(d)$, d é a distância, $M_{ap} = -2,5 \log(f) + C$, f é o fluxo e $M_{abs} = 3,9 \log(P) + C$, P é o período e C uma constante (SOUZA, 2004, p.45)

5.1.3. O efeito Doppler

Descoberto pelo físico austríaco Christian Doppler (1803 - 1853) em 1842, esse efeito explica que quando uma fonte sonora se afasta de um observador, ele percebe o som se tornando mais grave devido ao aumento do comprimento de onda e à diminuição da frequência do som e, quando a fonte se aproxima do observador, o som é percebido mais agudo devido à diminuição do comprimento de onda e consequentemente o aumento da frequência. Segundo Simon Singh, *“Doppler anunciou que o movimento de um objeto poderia afetar quaisquer ondas que este estivesse emitindo, fossem ondas de água, de som ou de luz”* (SINGH, 2006, p. 258). Em nosso cotidiano esse efeito é observado em diversos exemplos, como quando observamos a modificação do som da sirene de uma ambulância quando ela se aproxima de nós e depois se afasta.

5.1.4. Espectro luminoso

Em 1752, ao colocar substâncias diferentes sobre uma chama, o físico Escocês Thomas Melvill (1726 – 1753) observou que durante a queima cada substância emitia uma chama com cor característica. Em meados do século XIX Robert W. Bunsen (1811 - 1899) e Gustav Kirchhoff (1824 - 1887) construíram um aparelho capaz de indicar com precisão as linhas coloridas da luz que sai de uma fonte, o espectroscópio. Com esse aparelho, muitas substâncias foram analisadas e seus espectros levantados, verificando-se que o espectro de um elemento é sua identidade.

Logo, obtendo-se o espectro de uma substância desconhecida e comparando-o com os espectros de substâncias conhecidas pode-se estimar a composição da substância desconhecida. Kirchhoff e Bunsen usaram a nova tecnologia para analisar o espectro solar e identificaram dois comprimentos de onda ausentes como sendo o do sódio, concluindo que o sódio podia estar presente na atmosfera solar, assim, absorvia aqueles comprimentos de onda (SINGH, 2006).

Em 1868 o casal William e Margareth Huggins associou a espectroscopia com o efeito Doppler, ao comparar os espectros do Sol e da estrela Sirius, observou uma pequena diferença no comprimento de onda e estimaram em 41,4 milhas por segundo a velocidade de recessão daquela estrela (HUGGINS, 1868, p.548). O fato é que o casal Huggins verificou que as linhas de um espectro são deslocadas para uma determinada extremidade do espectro conforme o movimento da fonte (no caso,

os objetos celestes), analogamente ao som, quando a fonte luminosa está afastando-se do observador o comprimento de onda aumenta e as linhas são deslocadas para a “*extremidade vermelha*” (Assis, et al, 2008, p.205) do espectro (esse deslocamento percentual foi popularizado como desvio para o vermelho ou *redshift*)²⁵, ao contrário, se a fonte se aproxima, o comprimento de onda diminui, e as linhas deslocam-se para a extremidade azul do espectro (desvio para o azul ou *blueshift*).

As observações de Sir William Huggins e esposa tornaram-se um importante marco para a astronomia, pois, além de determinar distâncias entre corpos celestes, possibilitam estimar a composição química e suas velocidades em relação à Terra. Veremos a seguir que a estimativa de velocidades por meio da espectroscopia foi a base para E. P. Hubble mostrar o afastamento mútuo das galáxias.

5.2. A Constante de Expansão do Universo

Pouco mais de meio século após a estimativa realizada pelo casal Huggins, Vesto Melvin Slipher (1875 – 1969) conseguiu medir o desvio Doppler para 25 nebulosas (então, já reconhecidas como galáxias), das quais apenas quatro apresentavam desvio espectral para o azul (*blue shift*), indicando aproximação com da Terra, e as demais, afastamento em relação a nós. Entre as galáxias que se afastavam a do sombrero apresentava velocidade de recessão da ordem 1000 km/s. Mais uma vez as fronteiras do mundo tornam-se mais distantes de nós.

Na década de 1920, o astrônomo estadunidense Edwin Powell Hubble²⁶ (1889 – 1953), juntamente com Milton Humason (1891 – 1972) deu continuidade às observações e cálculos de Slipher, chegando em 1929 com um total de 46 galáxias.

²⁵ O desvio das linhas espectrais de certa substância (em geral é usado o hidrogênio, devido a sua abundância no Universo, aproximadamente 75%), permite determinar a velocidade de uma galáxia, aplicando a relação $v = c.z$, na qual c é a velocidade da luz, v é a velocidade do corpo que se deseja determinar e z é desvio para o vermelho, que é obtido pela relação: $(z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0})$, λ_0 é o comprimento

de onda daquela substância em repouso na Terra e λ é o comprimento de onda da mesma substância, do espectro observado na luz proveniente do corpo que se deseja estimar a velocidade.

²⁶ Nessa época a relação entre velocidade e distância de galáxias não era novidade, em 1918, por exemplo, o astrônomo alemão Carl Wilhelm Wirtz (1876-1939) propôs a ideia de que havia um componente de velocidade das galáxias. Essa proposta foi usada mais tarde por Hubble. KnutLundmark, astrônomo sueco (1889-1958), em 1924 relacionou distância e velocidade das galáxias e determinou a constante de expansão (SOARES & VAZ). “Em 1928, H. Robertson, usando as velocidades obtidas por Slipher e dados de distância de galáxias já publicados por Hubble, encontra uma relação aproximadamente linear entre velocidade e distância” (WAGA, 2000, p.165).

Enquanto Hubble calculava as distâncias das galáxias usando, usando o método das cefeídas, como ele escreveu em seu artigo de 1929²⁷, Humason determinava as velocidades pelo método fotométrico (determinação dos desvios Doppler) semelhante à realização de Slipher (SINGH, 2006, P.238). Das 46 galáxias catalogadas pela dupla Hubble/Humason, Hubble escolheu aquelas cujos dados ele mais confiava e construiu o gráfico visto na figura 01 em cuja abcissa anotou as distâncias das galáxias (em Mpc) e na ordenada, anotou as velocidades em km/s.

Da união dos pares ordenados surgiu uma reta média cujo coeficiente angular ficou conhecido como a constante de Hubble²⁸. A análise do gráfico indica, sem dificuldade que a velocidade de afastamento das galáxias é diretamente proporcional à distância entre elas, isto é, quanto maior for a distância entre as galáxias, maiores são suas velocidades de afastamento mútuo, essa relação ficou conhecida como lei de Hubble. Em termos algébricos, $v = H_0 \times D$ (v é a velocidade radial da galáxia, H_0 a constante de Hubble e D é a distância entre as galáxias).

À época, Hubble calculou a constante em 558 Km/s/Mpc (HUBBLE&HUMASON, 1931, P.76). Tal número indica que para cada um megaparsec²⁹ de distância a velocidade de recessão das galáxias aumenta, em média, 558 km/s. Além do trabalho de Hubble (base observacional), em 1927 o Padre belga Georges Lemaître, utilizando informações de Hubble e Schoenberg, determina esse valor como 625 Km/s/Mpc (base teórica) (LEMAÎTRE, 1927, p.56). Desde então, esse valor foi modificado, em virtude de fatores não considerados por Hubble à época, tais como a não consideração da poeira estelar que causava imprecisão na calibração da curva “período X luminosidade” (SOUZA, 2004, p.51) e também devido a maior precisão dos equipamentos de observação. Equipes do Hubble Space Telescope em 2001, por exemplo, estimaram H_0 em 72 Km/s/Mpc (SOUZA, 2004, p.51).

²⁷“Distâncias de nebulosas extragalácticas dependem em última instância da aplicação dos critérios de luminosidade absoluta das estrelas envolvidas cujos tipos podem ser reconhecidos. Estes incluem entre outras, as variáveis cefeídas, as novae, e as estrelas azuis envolvidos na nebulosidade de emissão”. (HUBBLE, 1929, p. 168 – tradução livre).

²⁸ O termo “constante de Hubble” começou a ser usado como tal após o reconhecimento público de E. Hubble como descobridor da expansão do Universo, segundo Kragh e Smith (2003) foi Einstein quem fez esse reconhecimento em 1945 (Bagdonas 2015).

²⁹ Um parsec (paralaxe por segundo - Pc) equivale à distância de um objeto visto sob um ângulo de um segundo de arco, que é de aproximadamente 3,26 anos-luz, como um ano-luz é a distância percorrida pela luz no vácuo durante um ano, um Pc é aproximadamente 30 trilhões de quilômetros. Um megaparsec (MPc) é esse valor multiplicado por um milhão, logo, 1MPc 30 quintilhões de km.

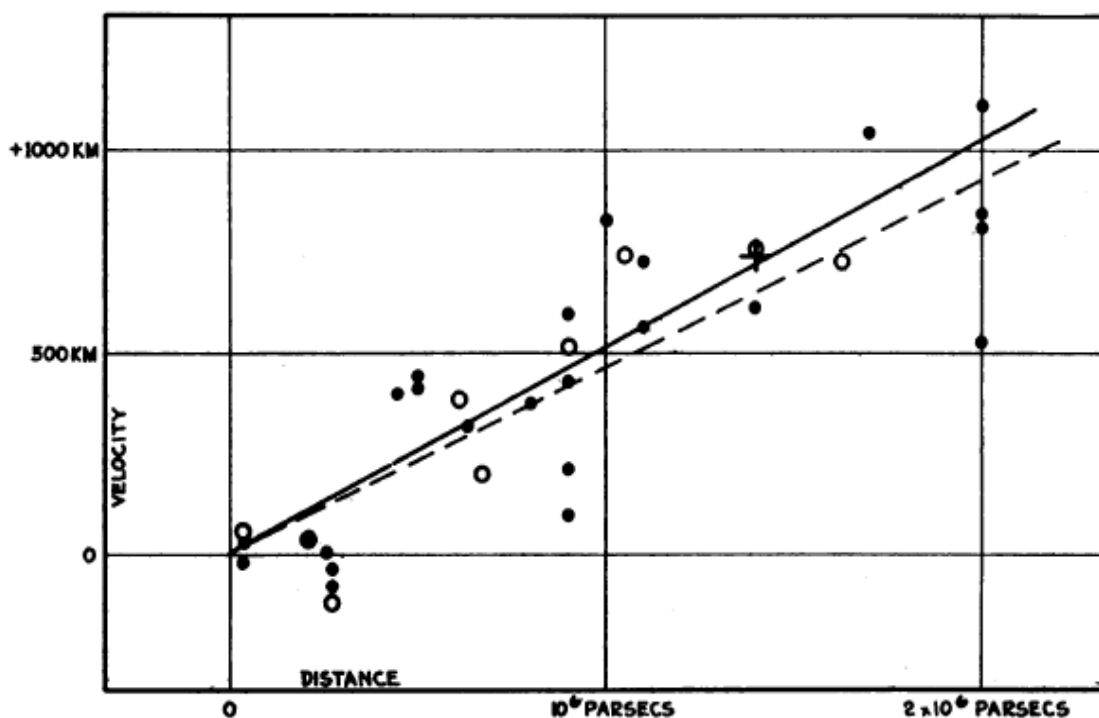


Fig. 01 – Gráfico extraído do artigo de 1929, no qual os pontos escuros indicam galáxias, nesse gráfico, os discos pretos e a linha cheia representam a solução para o movimento solar usando nebulosas (galáxias) individuais e os discos vazios com a linha pontilhada representam a solução combinando as nebulosas.

Em coordenadas comóveis³⁰, a lei de Hubble é escrita na forma $v(t) = H(t)r(t)$, indicando que a constante H varia com o decorrer do tempo, e que todos os pontos do espaço sofrem idêntica expansão, isso indica que a lei de Hubble continua sendo válida em qualquer ponto do espaço e qualquer tempo.

A lei de Hubble traz uma importante consequência para a cosmologia que é a possibilidade de no passado o Universo ter sido muito menor do que é atualmente, como se ontem as galáxias estivessem mais próximas umas das outras e, anteontem, mais próximas ainda, de modo que podemos intuir que num passado remoto os componentes do Universo ocupavam um volume muito pequeno. Aqui,

³⁰ Sistema de coordenadas que acompanha a expansão do Universo sem alterar objetos locais, nesse caso, os corpos celestes como as galáxias não sofrem qualquer alteração em suas dimensões devido ao aumento das distâncias entre elas. A letra “ r ” na lei de Hubble significa parâmetro de escala do Universo e sua definição depende do modelo de universo adotado. “Distância radial comóvel” (SOUZA, 2004, p.107).

falamos de observações, mas, essas teriam de ser corroboradas por uma teoria física para que a cosmologia galgasse o posto de ciência. À época da publicação dos trabalhos de Hubble, ao menos três teóricos já tentavam descrever uma física para a dinâmica do universo, entre eles, citamos: o belga Georges Lemaître, o russo Alexander Friedmann e o alemão de origem judaica Albert Einstein.

6. OS VÁRIOS UNIVERSOS TEÓRICOS

O trabalho observacional de Hubble indicava um universo em expansão, isto é, com as galáxias afastando-se mutuamente e de maneira semelhante não importando o referencial adotado (indicando um universo acêntrico). Sugere a pergunta – Se as observações mostram que as galáxias estão se afastando mutuamente, quais eram as distâncias entre elas no passado remoto? Tentativas de responder a essa pergunta sugerem que no passado muito distante elas estavam mais próximas a ponto de seus componentes terem surgido de uma região muito pequena do espaço. Os teóricos propuseram modelos com base nas teorias físicas, um deles é o que ficou conhecido como big bang, termo inglês cuja tradução é grande explosão. Esse modelo descreve um universo que teve início em um determinado instante, com a expansão do espaço tempo, cuja consequência fora o surgimento dos objetos que configuram nosso Universo no presente. Outros modelos de universo são sugeridos, em seguida são apresentados alguns desses e, suas comparações com o big bang que foi aquele que se destacou por diversas razões.

6.1. O Universo de Einstein

Albert Einstein (1889 – 1955) propôs um modelo de universo que ficou conhecido como princípio cosmológico (um universo homogêneo e isotrópico, isto é, que tem a mesma forma e o mesmo modelo em qualquer ponto do espaço que esteja o observador). O universo inicial de Einstein é esférico e estático. Como ele defendia um universo com tais características, surpreendeu-se ao verificar que as equações da relatividade geral (que ele próprio havia proposto) apontavam para um universo em permanente contração, por isso, teve que introduzir nas equações, um fator para contrabalancear a força gravitacional, e assim, evitar o colapso desse universo. Esse termo ficou conhecido como constante cosmológica. Desse modo, o universo einsteiniano está em equilíbrio estático, com a constante cosmológica repelindo o puxão gravitacional. Ao discutir a introdução da constante cosmológica, Novello expressa assim a sua importância: *Esse passo inicial, essa tentativa ousada e sem apoio em outra parte da ciência, deve ser entendida como a primeira estratégia para libertar a Cosmologia da física.* (NOVELLO, 2006, p.91).

Apesar de Einstein ter considerado o seu maior erro, a introdução da constante cosmológica, ao abandoná-la face à descoberta de E. P. Hubble, ela esteve em evidência ao menos em duas situações, (i) quando ela possibilitou a compreensão de um universo que não sofreria colapso gravitacional, tendo essa constante o papel de uma grande força para barrar o puxão da gravidade. (ii) quando ela resolveu o problema da idade do Universo, uma vez que pelos dados obtidos na constante de Hubble, esse teria cerca de 4,5 bilhões de anos de existência, mas essa era a idade do planeta Terra, realizada por métodos de datação radioativa. Como já discutimos anteriormente, a idade do Universo pode ser determinada diretamente pelo inverso da constante de Hubble ($t = 1/H$), mas verificou-se mais tarde que o elevado valor da constante de Hubble devia-se a erros cometidos por Hubble na inobservância de fatores importantes, mencionados no capítulo anterior. A introdução da constante cosmológica justificava uma diminuição da velocidade de expansão do Universo, o que permitia a determinação de um valor menor para a constante H , assim, a idade do Universo foi colocada em uma posição mais confortável em relação à idade do nosso planeta.

6.2. O Universo de Friedmann

Em 1922 o matemático russo Alexander Friedmann (1888 – 1925) anuncia a solução de três equações que concordam com a relatividade, essas, apresentavam um modelo de universo dependente de uma densidade, a qual: i) causaria ao universo uma expansão máxima e ficaria para sempre estático (se fosse igual à densidade crítica, o que atualmente seria de 11 átomos por metro cúbico) (SOUZA, 2004, p.63). ii) Causaria uma expansão para sempre acelerada (densidade muito pequena em relação à crítica) ou iii) atingiria um limite máximo de expansão devido a uma grande densidade (maior do que a crítica) que faria o universo a colapsar. É importante frisar aqui a ausência da constante cosmológica proposta por Einstein em seu modelo de universo.

Embora o modelo de Friedmann tenha surgido de soluções simplificadas das equações de campo da relatividade geral³¹, não fora aceito de imediato por Einstein, o qual parece não ter dado o devido crédito (SINGH, 2006 e BAGDONAS, 2015). É

³¹ As soluções de Friedmann mostram ao menos duas importantes consequências: O Universo teve um início e o tempo transcorrido até a atualidade é igual a dois terços do inverso da taxa de expansão ($t = 2/3H$). A densidade média de massa do Universo decresce com idade dele isto é,

uma proposta realmente inovadora, uma vez que sustenta um universo em movimento, ao contrário de um universo estático defendido por Einstein.

O trabalho apresentado por Friedmann em 1922 à revista alemã *Zeitschrift für Physik*, foi puramente matemático, Friedmann mostra-se cauteloso com seus resultados, como mostra A. Bagdonas: “...se fizermos $\lambda = 0$ e $M = 5.10^{21}$ massas solares, teremos um período do universo de 10 bilhões de anos. Estas visões certamente servem somente como ilustrações de nossos cálculos” (BAGDONAS, 2015, p.97). Diversos autores mostram que Friedmann não teria se preocupado com a Física envolvida em suas soluções, detendo-se apenas nas soluções matemáticas.

6.3. O Universo de Lemaître

No ano de 1927 o cosmólogo e clérigo belga, Georges-Henri Édouard Lemaître (1894 - 1966), publicou um trabalho cujas ideias muito se parecem com as do russo A. Friedmann. Lemaître explora o modelo de universo em expansão, partindo das equações de campo da relatividade geral, como fizera, aparentemente de forma independente, o cientista russo. Nesse caso, o modelo proposto indicava um universo que teve um início e que está se expandindo. Assim, no passado, tudo que compõem o universo hoje estava concentrado num pequeno ponto (singularidade), chamado de átomo primordial, que expandiu formando o espaço, o tempo, a matéria e a radiação do Universo como a conhecemos na atualidade. Na seção 4 do artigo, ao discutir o efeito Doppler Lemaître estabelece uma relação constante entre a velocidade v e a distância r ($R'/R = v/rc$) (LEMAÎTRE, 1927 p.56). Para muitos autores, essa solução é a própria lei de Hubble. Segundo o autor, ao utilizar dados de 42 galáxias (que ele chama de Nebulosas) da lista de Hubble e Schoenberg, obtém-se a velocidade radial em 625 km/s/Mpc. Esse valor não difere muito daquele que foi determinado por Hubble / Humason no trabalho apresentado em 1929. A ideia de um universo em expansão foi precursora da teoria do hot big bang.

Diferentemente de Friedmann, Lemaître relacionara-se com estudiosos do céu: foi orientando do astrônomo inglês A. S. Eddington que se proclamava uma das poucas pessoas que entendia a relatividade além do próprio Einstein, visitou o astrônomo Vesto M. Slipher e Hubble. Em 1925 Lemaître esteve presente em palestra na qual Hubble apresentava parte de seu trabalho, a descoberta de uma

estrela de brilho variável na galáxia de Andrômeda que lhe permitiu calcular sua distância. Os relacionamentos de Lemaître com outros cientistas o colocaram dos dois lados da investigação científica, a teoria e a observação, importantes para a conclusão de suas propostas.

Outros modelos teóricos como o do cientista holandês Willem de Sitter merecem análises, mas, entendemos que os citados anteriormente são suficientes para o nosso propósito (discutir a lei de Hubble).

6.4 O Big Bang

Análise da teoria de Lemaître conduz à conclusão de que o Universo tenha surgido em um instante, a partir de uma espécie de uma de fogo singular que se expandiu para todas as regiões do espaço. Tal acontecimento ficou conhecido como big bang, um termo que segundo diversos autores, foi cunhado de modo pejorativo, pelo astrônomo e matemático inglês Fred Hoyle (1915 – 2001), em seu programa de rádio na BBC de Londres na década de 1950 (SOUZA, 2004 e SINGH 2006). Hoyle defendia um modelo para um universo que não teve início, portanto contrário ao do big bang. O modelo de universo que nasceu de uma singularidade, antes era chamado *“modelo evolutivo dinâmico”*. (SINGH, 2006, p.329).

Apresentado desse modo o termo “grande explosão” implica:

- (i) a existência de algo dentro e algo fora, isto é, dois espaços;
- (ii) diferença de pressão e
- (iii) um centro da explosão. Portanto, é unanimidade entre os autores de cosmologia de que o termo big bang deva ser traduzido como grande expansão. Uma ideia atribuída ao cosmólogo belga Georges Lemaître, em seu artigo de 1927 (SINGH, 2006) no qual ele apresenta, através das soluções das equações de campo da Teoria da Relatividade Geral, que sugere um universo surgido de numa espécie de átomo primitivo e que expandiu com decorrer do tempo. A proposta apresentada por Lemaître concorda com o trabalho observacional de Hubble, o qual verificou que as galáxias distanciam-se umas das outras numa relação linear de velocidade e distância, e é considerado o descobridor da expansão do Universo.

Como a diferença de tempo entre a publicação do trabalho de Lemaître e os resultados observacionais de E. P. Hubble é muito pequena (1927 e 1929, respectivamente). Segundo BAGDONAS 2015, houve dúvidas por parte de alguns historiadores da ciência sobre o mérito da descoberta da expansão do Universo, uma vez que Hubble apresentou seus resultados dois anos depois que o clérigo belga havia publicado o seu trabalho numa revista de pouca circulação, no periódico científico belga, o *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, 1927 (SOARES, 2013, <http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/lemaitre/lemaitre.htm>). Parte dessa controvérsia foi dada como resolvida pelo astrofísico e Historiador romeno Mario Livio (*Jornal folha de São Paulo*, 13/11/2011 e revista *Ciência Hoje*, 26/11/2011).

Retomando ao termo big bang, apresentamos no capítulo 3 a justificativa de uma atividade proposta em sala de aula que consiste na filmagem, por parte dos alunos, de um elástico sendo esticado com movimento constante e, com base nas informações obtidas, eles estabelecem a relação entre a velocidade do esticamento e a distância entre os pontos marcados no elástico (uma analogia linear com a lei de Hubble). Esse experimento didático possibilita fazer a discussão sobre alguns equívocos mencionados sobre os instantes iniciais do Universo, com base na teoria do big bang, como por exemplo, os motivos pelos quais o modelo de universo em expansão não pode considerar que no instante do big bang as galáxias estavam todas num único ponto, pois, nessas condições de intensa energia e temperatura elas não poderiam existir.

Na década de 1940 o físico George Gamow (1904 – 1968) e colaboradores (Ralph Alpher e Hans Bete), estudando a formação *primordial do Hélio*, um processo no qual, prótons capturam nêutrons livres na formação de elementos mais pesados, esse processo continua até o esgotamento total do suprimento de nêutrons, desse esgotamento resulta equilíbrio térmico com radiação análoga à de um corpo negro. Com o decorrer das eras e com a expansão do Universo a temperatura diminuía devido à redução da frequência dos fótons os quais continuaram se propagando pelo espaço até a época atual. Observando os dados da expansão, a equipe de Gamow previu que o big bang deixara uma espécie de radiação remanescente que implicaria numa temperatura média do Universo atual, de 5K.

Em 1964, a dupla de radioastrônomos dos laboratórios Bell, Arno Penzias (1933 -) e Robert Wilson (1936 -) confirmaram as previsões de Gamow com a descoberta de um tipo de radiação na faixa de microondas a qual ficou conhecida

como Radiação Cósmica de Fundo em Microondas (RCFM). Naquela época a temperatura calculada com os dados observados foi de 3,5K. Pelo feito, a dupla recebeu o prêmio Nobel de física no ano de 1978. Em 1989 o satélite COBE (Cosmic Background Explorer) concluiu que a temperatura média atual do Universo é de aproximadamente 2,7K.

A teoria do big bang é corroborada, por pelo menos três ocorrências ao longo do século XX e que foram importantes para o estabelecimento da cosmologia como ciência, uma vez que ela ficou por muito tempo na obscuridade por falta de comprovação observacional:

- (i) A expansão do universo prevista por Lemaître e confirmada por Hubble
- (ii) A radiação de fundo de micro-ondas previsto pelo grupo de do cientista russo G. Gamow e confirmada pela dupla Penzias/Wilson e
- (iii) A previsão de um período de temperatura muito elevada do Universo, cujo resfriamento possibilitou a formação de elementos químicos leves como o hélio. Observações confirmam a abundância do hélio e do hidrogênio na proporção de um para dez, bem distribuídos no espaço. Esse período foi denominado de era da nucleossíntese.

6.4. A Idade do Universo na Teoria do Big Bang

Uma análise simples da lei de Hubble nos permite verificar que o tempo transcorrido entre o início da expansão do Universo e a era atual obedece à expressão $t = (H^{-1})^{32}$. Mas os diversos modelos teóricos mostram que, com pequenos ajustes, esse tempo não diverge muito dessa expressão. No modelo de Einstein-de-Sitter, com o universo crítico, isto é, com uma densidade crítica que faz a

gravidade parar a sua expansão, esse tempo é expresso por $T = \frac{2}{3H_0}$. Tal relação, assim como a anterior, mostra que a idade do Universo depende apenas da constante de Hubble. Já considerando um universo com a constante cosmológica,

esse tempo adquire um pequeno fator e aproxima-se da equação $T \cong \frac{2}{3H_0} \cdot \Omega^{-0,3}$, sendo que Ω é um termo dependente da densidade de massa do Universo,

³² Seja (1) $v = H_0 \cdot D$, a Lei de Hubble, e (2) $v = D/t$, substituindo-se (2) em (1) $D/t = H_0 \cdot D$, tem-se $1/t = H_0$ ou $t = 1/H_0$.

nomeado de parâmetro de densidade. Essa última expressão mostra que quando o Universo era mais novo a densidade da matéria era maior (sem considerar aqui, a fase na qual a matéria estava acoplada à radiação e, em certo instante, ambas se separaram).

Adotando-se o valor da constante de Hubble (H_0), citada anteriormente, como 72km/s/Mpc (SOUZA, 2004, p.51)³³, e substituindo esse valor na lei de Hubble, encontra-se 13,7 bilhões de anos para a idade do Universo, este resultado sugere que há 13, 7 bilhões de anos o espaço começou a expandir-se e, por diversos fenômenos, os seus componentes foram sendo formados.

6.5. O Modelo Padrão Cosmológico (MPC)

O big bang é apenas uma parte de um modelo maior, chamado de Modelo Padrão da Cosmologia. Para melhor entendê-lo é necessário compreender alguns aspectos que foram importantes para dar conta de explicar a origem do Universo quando novos problemas surgiram: o problema da expansão acelerada, a formação de elementos pesados, o balanço de matéria nos aglomerados galácticos e a planaridade, são alguns deles.

6.6. A Diferença de Energia Entre a Previsão e o Que é Observado: Matéria Escura

A matéria comum ao conhecimento da maioria das pessoas é aquela que é composta de prótons, nêutrons e elétrons, essa, é chamada de matéria bariônica. Os cientistas observaram que nos aglomerados de galáxias há uma diferença grande entre a matéria visível (cerca de 4%) e aquela que é necessária para causar o movimento observado das galáxias em direção ao centro do aglomerado em cuja massa é muito superior à massa bariônica. A esse excesso, sugerem uma matéria com características exóticas que ficou conhecida como matéria escura. O modelo que inclui a matéria escura auxilia na explicação da formação de grandes estruturas do Universo é intitulado de modelo CDM (Could Dark Matter).

³³ Esse valor considera a temperatura média do Universo em 2,7K.

6.7. A Expansão Acelerada: Energia Escura

Mostramos no capítulo quinto que a lei de Hubble relaciona velocidade de recessão das galáxias de modo linear com suas distâncias, o que indica que o Universo encontra-se em expansão constante. Observações mais recentes, em particular das supernovas do tipo Ia, têm indicado que a expansão é acelerada, como se houvesse uma pressão negativa cuja força resultante rompesse a força gravitacional entre os corpos. A tentativa de explicar tal ocorrência leva os cosmólogos a atribuírem uma componente não identificada a qual denominam **energia escura**. Apesar de muitas vezes a energia escura ser interpretada como a constante cosmológica (Λ) proposta por Einstein e depois ele a ter considerado como o seu maior erro, a energia escura ainda recebe outras interpretações, tais como: massa do gráviton, fluido cosmológico perfeito, etc.(HORRVATH, et al, 2011, NOVELLO 2006 e SOUZA 2004). O modelo que contabiliza a energia escura na dinâmica do Universo é chamado de modelo Λ CDM.

7. OUTROS MODELOS COSMOLÓGICOS

A teoria do big bang não atingiu uma posição de reconhecimento ao acaso. Ela é, como mencionamos ao longo do capítulo anterior, fruto da combinação entre teoria e observação que se deram ao longo dos séculos, especialmente do séc. xx, com maior presença no final desse século, como menciona Novello, “Mesmo sem ter produzido uma explicação racional sobre a origem do Universo, o modelo big bang (...) - dominou o cenário cosmológico durante a maior parte da história moderna da cosmologia, em particular dos anos 1970 a 2000” (NOVELLO, 2010, p.17).

Curiosamente tal modelo foi tão bem difundido entre as pessoas que chega a ser usado como uma espécie de “anti-deus”, um exemplo dessa difusão feita em grande parte pela mídia, se fez presente quando da aplicação do produto em sala de aula no ano de 2015, quando alguns alunos, usando a teoria do big bang como uma forma “científica” de negar a criação divina. Ao serem indagados sobre suas concepções de Universo, respondiam: “- *Não creio que Deus fez o mundo, mas, creio no big bang* -”. Essa difusão se faz presente nas escolas de grande parte do mundo moderno. Nos livros didáticos brasileiros, pelo menos aqueles que foram objetos de nossa breve análise, por exemplo, não existem capítulos abordando teorias alternativas ao modelo do big bang. Por fim, o desenvolvimento de nosso trabalho (apesar de não ter como objetivo a defesa deste ou daquele modelo), não fosse a tímida discussão de teorias alternativas neste capítulo, mostra o domínio da teoria do big bang como a teoria que melhor explica o surgimento do mundo, visto que a nossa discussão em torno da constante de Hubble acaba por reforçar a expansão do Universo e, com isso, contribui para a manutenção desse modelo.

Embora seja um modelo que goze, atualmente, de prestígio entre os cientistas, o big bang está longe de ganhar status de uma verdade absoluta. Uma vez que sobre a criação do Universo pairam ainda muitas questões, tais como:

- (a) o que houve no tempo zero?
- (b) se no passado a densidade era tão elevada, o que venceu a gravidade?
- (c) Por que se iniciou a expansão?

(GREENE, 2004, p.317), além disso, como compatibilizar os cenários CDM e Λ CDM? Veremos adiante que alguns poucos pesquisadores apontaram neste modelo, alguma inconsistência, e fizeram outras tentativas de explicar a origem do universo.

Marcos C. D. Neves, ao discutir a controvérsia da Cosmologia moderna relacionada com o “estrondão”, defende que, a intensidade com que o modelo do big bang se fez presente no ensino, é uma das causas que justifica o seu prestígio. Sugere ainda que a permanência de uma teoria como a do big bang como paradigma do surgimento do Universo deve-se ao ensino que produz um *“esquecimento das fontes originais do conhecimento”* (NEVES, 2000 p.198). Isto é, a ciência normal, no sentido discutido por Thomas Kuhn, através da escola foi e ainda é bem difundida pelo mundo, como maneira de convencer a todos de que a dinâmica do Universo está bem explicada. De certo modo, para muitos grupos, isso é confortante, pois assim, não há muito mais com o que se preocupar. Do outro lado, em defesa do paradigma vigente, Steven Weinberg defende as razões da primazia do modelo do big bang, ao escrever:

...ficamos com o ‘modelo padrão’ (Big Bang)? Como foi que ele suplantou as outras teorias, inclusive a do estado permanente? É um tributo à objetividade da astrofísica moderna a afirmação de que o consenso foi atingido pela pressão dos dados empíricos, e não por variações de preferência filosófica nem pela influência de mandarins da astrofísica. (WEINBERG, 1980)

A aceitação do big bang foi marcada de por acalorados debates entre seus defensores e seus opositores. Segundo Simon SINGH, enquanto o papa Pio XII fazia um discurso de apoio público sobre a teoria do big bang em 22 de dezembro de 1951, intitulado *“As provas da existência de Deus à luz da moderna ciência natural”*. Na década de 1930 o político soviético Andrei Jdanov perseguia os cientistas russos, defensores do big bang, rotulando-os de “agentes de Lemaître”. Jdanov resumia a posição soviética em relação ao big bang dizendo: *“- Falsificadores da ciência querem reviver o conto de fadas da origem do mundo a partir do nada.”* Uma das vítimas de seu poderio foi o astrônomo Nikolai Kozyrev (02/09/1908 – 27/02/1983), que fora enviado a um “campo de trabalho” em 1937 e depois condenado à morte, a condenação foi transformada novamente em prisão.

Nosso trabalho está apontado diretamente para a apresentação da cosmologia em sala de aula para alunos do ensino médio, logo, pensamos que eles não devem ficar com a impressão de que existem apenas dois modos de se buscar a explicação da origem do Universo, pela teoria do big bang ou pela teologia, a qual explica que deus criou tudo. Embora a teoria do “estrondão”, esteja do ponto de vista científico, bem estruturada, uma vez que tenha resistido a muitos testes, tais como: a

previsão da nucleossíntese e da RCFM, ela não deve ser considerada a única teoria científica capaz de responder às questões da origem do Universo. Por isso apresentamos a seguir algumas teorias que buscam descrever a existência do Universo por outros processos que não *big bang* e que fazem contraponto e buscam dar respostas na possibilidade de esse modelo falhar.

7.1. Teoria do Universo Estacionário

Em busca de uma teoria que explicasse a dinâmica do Universo e evitasse a singularidade e um início a partir “do nada”. Surge uma proposta alternativa que ficou conhecida como teoria do Universo estacionário, ela foi concluída em dois momentos, primeiro na década de 1940 e complementada no início da década de 1990. No primeiro momento Fred Hoyle e seus colegas Thomas Gold e Hermann Bondi defendem um modelo de universo com existência eterna sem a necessidade de início nem fim, essa proposta sugere um universo em expansão apesar de sua existência infinita no tempo. Uma aceitação justificada pelo *desvio espectral* associado ao efeito Doppler. Tal proposta fora atraente em princípio porque sugeria uma criação contínua de matéria no interior de galáxias e de quasares. Ao contrário do big bang cuja proposta era de que o todo o universo nascera ao *mesmo tempo* e a evolução de todos os seus componentes era muito semelhante, a teoria do estado estacionário sugere objetos nascendo e expandindo com o espaço de modo a manter uma configuração isotrópica. Então, comparando-se ambos os modelos, um teste poderia ser realizado para identificar galáxias em estágios diferentes de vida. No caso do Universo Estacionário, galáxias jovens e velhas poderiam ser encontradas a quaisquer distâncias. Já no modelo do big bang galáxias jovens seriam observadas nas proximidades da Via-Láctea e as galáxias velhas a grandes distancias.

Até a década de 1950 a questão da origem do Universo estava dividida entre duas teorias que eram defendidas por muitos seguidores de ambos os lados, ora parecia uma decisão política ora, religiosa. As disputas ficaram acirradas de tal modo que em 1959 foi realizada uma pesquisa de opinião entre astrônomos importantes da época, resultando em 33% favoráveis à teoria do Big bang, 24% ao estado estacionário e os demais ou ficaram indecisos ou achavam que os dois modelos estavam errados (SINGH, 2006, p.340).

A batalha entre defensores do big bang e do universo estacionário continuou até 1965 quando dois pesquisadores estadunidenses, Robert Wilson e Arno Penzias detectaram a radiação de fundo em micro-ondas, prevista pela teoria da grande explosão.

Até então, pesam contra o estado estacionário dois fatos, além da descoberta radiação de fundo, a ausência de galáxias velhas a quaisquer distâncias. Agora, o cenário favorecia mais ainda ao modelo de um universo com início, em 1980, dois anos após Penzias e Wilson serem agraciados com o prêmio Nobel, uma nova pesquisa de opinião entre astrônomos foi realizada e, desta vez, subiu para 69% os votos favoráveis ao big bang. Isso indicava uma provável influência da detecção da radiação de fundo, a partir daí, segundo Simon Singh 2006, a teoria do estado estacionário começou a cair no esquecimento.

7.2. Teoria do Universo Quase Estacionário

Após o evento da descoberta da RFCM muitos defensores do universo estacionário foram persuadidos a abandonar suas “crenças”, mas Hoyle, para “salvar” o modelo, adaptou a teoria do universo estacionário às novas observações no que ficou conhecido como teoria do universo quase estacionário, juntamente com o físico indiano Jaiant Narlikar (1938 -), que atualmente é o maior defensor desse modelo. Em linhas gerais esse modelo afirma que a matéria do universo é criada continuamente e ejetada do núcleo das galáxias para compor novos corpos. A respeito da RFCM, o modelo de universo quase estacionário explica que é resultado da difusão da luz das estrelas.

7.3. Modelo de Alfvén-Klein: A Cosmologia de plasma

No início da década de 1960, os físicos Hannes Alfvén e Oscar Klein defenderam um modelo de universo o qual seria criado a partir de uma *gigantesca metagaláxia* de gás de plasma difuso que se contraía lentamente, conservando a quantidade de matéria e anti-matéria. Segundo esses autores, durante a contração dessa galáxia, a densidade teria atingido um valor crítico e, naquele instante, matéria e anti-matéria se aniquilaram resultando numa enorme quantidade de radiação. Segundo esse modelo, quando a radiação cessou, parte da matéria

restante deixou de colapsar e começou a se expandir novamente (SILK, 1979). Daí em diante, esse novo modelo se equivale ao do Big Bang. Essa proposta ainda continua sendo defendida, atualmente, pelo físico Eric Lerner (1947).

7.4. O Universo de Arp: A Criação Continua de Matéria

A Cosmologia do Big bang depende quase que exclusivamente da constante de Hubble, sejam:

- No cálculo de velocidades de recessão das galáxias.
- Na determinação das distâncias cósmicas.
- Na obtenção da idade do Universo

Ocorre que a constante de Hubble é uma relação entre a velocidade e a distância, mas as velocidades dependem diretamente do fator de variação do comprimento de onda observado e em repouso no referencial da Terra. Em se tratando de velocidade de afastamento, esse fator é conhecido como desvio para o vermelho (redshift), comumente nomeado pela letra z . Verifica-se que para z muito grande a velocidade de recessão também o é, e assim, o objeto observado encontra-se muito distante de nós.

O astrônomo estadunidense Halton C. Arp (1927 – 1913), criador *do atlas das galáxias peculiares*, cujo primeiro emprego segundo ele próprio, foi oferecido por E. Hubble (ARP, 2001, p. 24), em suas observações verificou que os quasares estão quase sempre associados à galáxias, e que estão ligados a elas ³⁴ por uma zona filamentosa (*luminous bridge*), o que o levou a sugerir que um quasar pode ser a ejeção de matéria de um núcleo galáctico. Como galáxia e quasar associado tem desvios para o vermelho diferentes, então, o redshift pode não ser a explicação da velocidade de recessão das galáxias. Esse fato, segundo Arp, coloca em discussão as distâncias dos objetos cósmicos e também a idade do Universo, com base no modelo do *big bang*.

Se o desvio para o vermelho é explicado na teoria do Big bang como sendo resultado do esticamento do espaço-tempo, na teoria da criação contínua de matéria, defendida por Halton Arp, ele é chamado de redshift intrínseco e é explicado pela teoria de massa variável das partículas, segundo a qual, assegura

³⁴ Quasar, sigla para Quase-Stellar Radio source ou fonte de rádio quase-estelar (não emite luz visível opticamente). É considerado (pela teoria do Big Bang) com um dos objetos mais distantes com núcleo galáctico ativo.

que as partículas como prótons e elétrons nascem no interior das galáxias com massa nula e, conforme ficam mais velhas tem suas massas aumentadas, isto é, a massa de uma dessas partículas é função do tempo. Assim, Arp explica o redshift pela teoria de Narlikar :

Se as massas das partículas são função do tempo, então, elétrons mais jovens (criados mais recentemente) têm massas menores. Quando um elétron com massa menor realiza uma transição entre as órbitas atômicas, o fóton envolvido tem menor energia e a linha espectral resultante é desviada para o vermelho. A lição consistente das observações que estamos discutindo é que quanto mais jovem é o objeto, maior é o desvio para o vermelho intrínseco. (ARP, 2001, p. 336)

Um universo nessas condições não depende de começo nem fim, portanto, não necessita de uma grande explosão, no máximo, de mini-bangs como cita Arp.

A negação de Arp ao modelo do big bang pode ser traduzida em um resumo do que ele chama de o *"Meu Modelo Preferido Atual de Universo"*

- O universo não está se expandindo, pode ser indefinidamente grande e episodicamente desabrocha a si próprio a partir de muitos pontos dentro dele mesmo.
- Até agora só podemos estar certos de ver objetos dentro de nossos superaglomerados (Virgem e Fornalha). A distância aos próximos superaglomerados pode ser muito grande. Podemos estar vendo apenas uma parte minúscula do universo.
- Padrões nas sementes, que se desenvolvem em novos objetos, têm de ser gravadas a partir de leis muito complexas neste universo indefinidamente grande. Objetos estão continuamente nascendo e crescendo, mas são de alguma forma, diferentes em cada geração.

Como se pode ver, a proposta de Arp, descrita muito sucintamente neste item, apresenta um modelo de universo bastante diferente do modelo do *"estrandão"* de Lemaître, Gamow e colaboradores e corroborado, pela lei de Hubble e pela detecção da radiação cósmica de fundo em micro-ondas. Assim como os outros modelos cosmológicos, esse também necessita de evidências observacionais que justifiquem as teorias. Mas, como citamos anteriormente, os modelos opostos ao big bang terão dificuldades de serem testados, uma vez que vivemos há muito, num paradigma de universo regido pelo modelo da grande expansão. E que, como afirma

Kuhn, os paradigmas são defendidos por seus propositores até que esses apresentem anomalias profundas e que não consigam mais se sustentar.

Além dos modelos apresentados existem outras propostas, como o modelo do Bouncing ou *ricochete*, defendido pelo físico brasileiro Mario Novello, o qual prevê que o universo com existência eterna (revista ciência hoje, 05/05/2014).

Acreditamos que mesmo que as teorias do modelo padrão tenham apresentado consistências do ponto de vista observacional e relativa coerência com a física vigente, outras propostas devem ser apresentadas aos alunos para que esses percebam a ciência como uma instituição livre e dinâmica, mas, que ao mesmo tempo seja rigorosa no sentido de se exigir um conjunto de normas universais para a consolidação de determinados conhecimentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como o foco principal do nosso trabalho foi o aluno da escola básica e a pretensão foi desenvolver um produto para promover o debate da cosmologia em sala de aula, tivemos que trabalhar em duas frentes: uma, a situação do ensino das ciências celestes nesse nível de ensino e a segunda, o breve resgate histórico da cosmologia ao longo dos séculos. Com relação ao produto e a respectiva aplicação em sala de aula, os resultados estão apresentados em relatório (APÊNDICE). É importante esclarecer que sua aplicação, apesar de ter impactado positivamente entre os estudantes, evidenciou as dificuldades apontadas por LANGHI & NARDI, 2013; LEITE, 2002 e BISCH, 1998: A falta da abordagem do tema cosmologia ou astronomia nos currículos dos cursos de formação de professores, o reduzido número de espaços de visitação como divulgação do tema e a falta da concretização da formação continuada de professores.

Acerca do ensino das ciências celestes, ficou claro que as possibilidades estão postas, (1) do ponto de vista legal, haja vista as pontuações nos documentos oficiais sobre o ensino de física nos quais a cosmologia aparece não mais como conteúdo anexo, mas como parte integrante da grade curricular da física. (2) do ponto de vista pedagógico, como apontamos na primeira parte dessa dissertação, há uma crescente literatura desde a década de 1990, sugerindo caminhos para se compreender o estado da arte do ensino desse tema, como a formação de professores, (LANGHI & NARDI, 2013) e também, propostas reais para o dia-a-dia do trabalho em sala de aula (CANIATO, 2011).

No capítulo 2, ao analisar a presença da cosmologia nos livros didáticos constatamos que ela ainda é incipiente, como observamos a pequena quantidade de páginas dispensadas ao assunto. Em muitas obras didáticas a cosmologia aparece no último capítulo, com se tivesse lá apenas para cumprir as normas dos editais do PNLD, para aprovação. Felizmente, como verificamos, parece que esse quadro está aos poucos dando sinais de melhorias. Como o surgimento, por exemplo, de obras nas quais a cosmologia aparece muito bem distribuída nos três volumes do ensino médio, como é o caso da obra didática “Física em Contextos” (PIETROCOLA et al, 2010).

Embora não nos aprofundamos na discussão sobre a formação de professores, uma vez que muitos autores já o fizeram e destacaram a má formação

como responsável pelo panorama deficitário do ensino das ciências celestes. Concordamos com as evidências, mas não podemos deixar de destacar que saber astronomia, astrofísica ou cosmologia não é, especificamente, pré-requisito para aprovação em concursos para o cargo de professor (a) do ensino fundamental I (que ensina crianças do 1º ao quinto ano), para o professor de ciências do ensino fundamental II ou mesmo para o professor de física do ensino médio. Nesse caso, acreditamos que o sistema educacional ainda é estruturado a permitir que a formação inicial desse profissional se dê sem esses conteúdos. Quer dizer:

(a) aos cursos de formação superior são permitidos currículos com carga horária diminuta ou inexistente de astronomia/cosmologia,

(b) aos educadores são permitidos não trabalharem tais conteúdos e

(c) aos autores de livros didáticos são permitidos a não abordagem desses assuntos em suas obras. Desse modo, o insucesso do ensino-aprendizagem da cosmologia na educação básica é, entre outras, a propagação de permissões ou de escolhas de ordens diversas.

Ainda com relação à questão do ensino-aprendizagem, observamos que há uma parcela de professores que travam uma luta permanente contra as permissividades apontadas no parágrafo anterior, os quais nomearei de “fora da curva”, para dizer que com todo esse panorama desalentador, eles são estimulados a desbravarem a seara à busca de caminhos que os possibilitem fazer propostas de modificação do quadro.

Em nossas pesquisas, grande parte dos autores é composta por pessoas que são ou foram professores do ensino médio. E, não conformados com a precariedade do ensino das ciências celestes no ensino básico, tiveram a visão de poderem descrever o problema e sugerir melhorias. Mas, para a infelicidade dos alunos desse nível de ensino, o sistema público de ensino não consegue, por variadas razões, manter esses profissionais por muito tempo (devido a baixos salários, condições precárias de trabalho, e por falta de recursos materiais de toda ordem.)³⁵, eles acabam buscando melhores condições em escolas particulares ou em universidades e abandonam a escola que mais depende deles, a escola pública.

³⁵ Em 17/11/2015 “A folha de São Paulo” um jornal de grande circulação no estado de São Paulo publicou um artigo assinado por Fábio Takahashi, cujo título “Rede estadual de SP enfrenta saída recorde de Professores” apontando a redução do número de professores em 11% em apenas um ano.

Sugerimos que o desenvolvimento da ciência geralmente não se dá de maneira linear e que em muitos casos pessoas e lugares tomam para si os títulos das descobertas por questões diversas. Ao longo deste trabalho constatamos a sugestão. Centramo-nos inicialmente na pessoa de Edwin Powell Hubble como o descobridor da expansão do Universo, mas ele próprio usa informações de Vesto Slipher e de Knut Lundmark sobre o afastamento das “nebulosas”. Para concluir o seu trabalho, Hubble dependia de duas grandezas físicas: a distância e a velocidade das galáxias. A primeira, apesar das dificuldades, a possibilidade de sua obtenção já vinha de muito tempo com a determinação da medida da paralaxe, embora Hubble tenha utilizado o método das cefeídas. Já a segunda grandeza, a velocidade, ele fez uso do desvio dos comprimentos de onda da luz (redshift ou blueshift), fenômeno já verificado pelo casal Huggins em 1868.

No quesito teórico, as teorias sobre a dinâmica do Universo também apresentam controvérsias quanto ao detentor do título de descobridor, Lemaître ou Friedmann? Embora trabalhando na solução das suas equações de campo constata-se que ambos contrariaram a Albert Einstein ao proporem um universo em expansão, em oposição ao seu universo estático.

Acerca das verdades estabelecidas, chamou-nos a atenção o grau de difusão da teoria do big bang como aquela que explica satisfatoriamente a origem do Universo e que quase não deixa espaço para se discutir outras possibilidades. Assim, parece que essa teoria está determinada como um paradigma atual da compreensão da origem do Universo, segundo a abordagem científica. Halton Arp, que é reconhecido nos meios astronômicos pelo desenvolvimento do catálogo de *galáxias peculiares*, sugere que a ciência moderna se faz também com certa arbitragem política, quando ele descreve situações em que os tempos de observações nos telescópios mais potentes eram negados pesquisadores que estivessem lidando com pesquisas não afinadas como modelo do big bang. Nesse sentido, Mario Novello, ao comparar o big bang com o modelo de Universo *eterno*, explicita:

Como a divulgação científica se destina, na maior parte das vezes, a não especialistas — que não possui as ferramentas formais para avaliar criticamente o que lhes é apresentado —, toda afirmação que se faz e que não teve ainda sua veracidade confirmada pelos métodos convencionais, absolutos e universais da ciência deve exibir para o ouvinte e/ou o leitor sua condição limitada ou provisória. Caso contrário, como já comentei, esse uso indevido do status elevado que

a ciência possui nada mais será que uma “máscara atrás da qual se esconde um poder político que não ousa se declarar como tal”. (NOVELLO, 2010, p.15)

Cientes de que nossa pesquisa tanto do lado pedagógico, com a preocupação de colaborar para que a cosmologia possa ser discutida em sala de aula no ensino médio, quanto do lado da ciência, não teve a pretensão de fechar nenhuma porta nem pregar a imposição de dogmas de nenhum tipo. Por isso, a nossa pretensão de que esse trabalho sirva como fator motivador para que outros possam avançar a partir do que fizemos ou até mesmo corrigir nossas falhas, para que a ciência seja apresentada com o maior rigor, mas que ao mesmo tempo, permita ser questionada. Que sua História seja contada o mais próximo possível dos fatos. Que, com isso homens e mulheres do mundo possam encontrar exemplos de que sectarismos e dogmatismos, especialmente na ciência, não valem a pena.

Assim, “O debate da cosmologia” deve participar tanto da composição curricular dirigida ao aluno e, quiçá, na formação de professores e, além desses, deve fazer parte da cultura científica, compartilhada por todas as áreas do conhecimento, como meio de atingir o maior número possível de pessoas, nesse caso, escola e professores tem um papel de extrema importância principalmente porque a cosmologia é um ramo do conhecimento que impele a humanidade no sentido de compreender-se como parte de um sistema assombrosamente grande e, que apesar dessa grandiosidade, deu a ela o privilégio de desenvolver-se, mediante o processo complexo da vida.

Concordamos com Langhi (2013), que a empreitada de levar as ciências celestes para as salas de aula deve envolver tanto astrônomos profissionais quanto astrônomos “*amadores*” não “*hobbystas*”, professores de física e de ciências, numa espécie de mutirão astronômico. Para tanto, os governantes tem responsabilidades múltiplas no sentido de estimular as universidades a participarem ativamente na organização dos currículos para a formação de professores como também na chamada *formação continuada* para aqueles educadores que estão em sala de aula. E que essas mesmas universidades possam ampliar suas ações, atraindo o maior número possível de pessoas da população em geral.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, Maria Cristina Batoni – o discreto charme das PARTÍCULAS ELEMENTARES - São Paulo – Editora da UNESP, 2006.

AGUIAR, Ricardo Rechi – Tópicos de astrofísica e cosmologia: uma aplicação de física moderna e contemporânea no ensino médio. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e instituto de Biociências. 2010.

BAGDONAS, Alexandre – Controvérsias envolvendo a natureza da ciência em sequências didáticas envolvendo cosmologia. Tese de Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e instituto de Biociências, 2015.

BISCH, Sérgio Mascarello. Astronomia no Ensino Fundamental: Natureza e Conteúdo do Conhecimento de Estudantes e Professores. Tese de Doutorado. FE USP – São Paulo, 1998.

BRASIL, 2000. <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acessado em março de 2016.

BRASIL, 2012, Programa Nacional do Livro Didático PNLD 2012 – Ensino Médio, Edital de convocação para inscrição no processo de avaliação e seleção de obras didáticas para o PNLD 2012 - Ensino Médio. Disponível em: <http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico/livro-didatico-editais/item/3014editais-antiores>. (Acessado em 29 de março de 2015).

COPERNICO, Nicolau, 1743-1543 COMMENTARIOLUS: Pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes/introdução, tradução e notas Roberto de Andrade MARTINS – São Paulo: Nova Stella; Rio de Janeiro: Coppe: MAST, 1990.

DAMINELI, Augusto. Hubble: A expansão do Universo, São Paulo: Odysseus Editora, 2003.

FLEMING, Henrique – Rumo à Cosmologia. IF USP – São Paulo – SP

FNDE - <http://www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico>. Acessado em março de 2016.

FREIRE, Paulo. Pedagogia do oprimido, 17ª ed. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1987.

GALILEI, Galileu. Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano – tradução, introdução e notas de Pablo R. Mariconda – 3ª edição, São Paulo: editora 34, 2011.

GARCIA, R. Ciência: Carta inocenta físico de usurpar descoberta sobre o universo. Jornal folha de São Paulo - Washington 14/11/2011. Disponível em:<http://www1.folha.uol.com.br/ciencia/2011/11/1006068-carta-inocenta-fisico-de-usurpar-descoberta-sobre-o-universo.shtml>. Acessado em 25/11/2015.

GREENE, Brian O tecido do cosmo: o espaço, o tempo e a textura da realidade; tradução José Viegas Filho; São Paulo: Companhia das Letras 2005.

HORVARTH, J.E...[et al.]. Cosmologia Física - São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

HUBBLE, Edwin Powell: A Relation between distance and a radial velocity among extra-galactic nebulae, Mount Wilson Observatory, Carnegie Institution of Washington, 1929. (acessado em 25 de março de 2015)

HUBBLE, Edwin e HUMASON, Milton I, The velocity-distance relation among Extra-Galactic Nebulae, Mount Wilson Observatory, Carnegie Institurion of Washington, 1931.

HUGGINS, William: Further Observations on the Spectria some of the Stars and Nebulae, with an attempt to therefrom whether these bodies are moving towards or from the Earth, also observations on the Spectria of the Sun and of Comet II, 1868 Phil.Trans. R. Soc. Lond. January 1, 1868 158-564; DOI: 10.1098/RST.1868.022;

LEITE, Cristina – Os Professores de Ciências e suas formas de pensar a Astronomia. Dissertação de Mestrado: São Paulo: Universidade de São Paulo: Instituto de Física – Departamento de Física Experimental, 2002.

Kuhn, Thomaz s. A estrutura das revoluções científicas, Ed. Perspectiva, (coleção debates – ciência), São Paulo – 2001

LANGHI, Rodolfo, e NARDI, Roberto. Educação em astronomia: repensando a formação de professores – São Paulo: Escrituras Editora, 2013

LUNDMARK, Knut – The Determination of the Curvature of Space-time in de-Sitter's World. 1924 – Royal Astronomic Society. Disponível em http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1924MNRAS..84..747L&data_type=PDF_HIGH&whole_paper=YES&type=PRINTER&filetype=.pdf. Acessado em setembro de 2015.

MARTINS, Roberto de Andrade. Como distorcer a física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica. 2 – Física moderna. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 15 (3): 265-300/1998. - <http://www.ghctc.usp.br/ram-r67.htm> (Acessado em 20/04/2015).

_____. O Universo: Teorias sobre sua origem e evolução, 2ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

MOREIRA, Marco Antonio, Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. Instituto de Física – UFRGS – Porto Alegre – RS (<http://moreira.if.ufrgs.br>). No prelo.

_____. Teorias de aprendizagem – São Paulo: E.P.U. 1999.

MORENO, Ricardo e DEUSTUA, Susana - Expansão do Universo - International Astronomical Union, Colegio Retamar (Madrid, Espanha), Space Telescope Science Institute (Baltimore, USA) http://sac.csic.es/astrosecundaria/pt/cursos/formato/materiales/talleres/T8_pt.pdf(Acessado em 26/04/2015).

MOUTINHO, Sofia, LADO B, Revista ciência hoje – 05/05/2014. <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2014/05/lado-b> Acessado em abril de 2015.

NOVELLO, Mário – O que é Cosmologia? : A revolução do pensamento cosmológico-Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed. – 2006.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza e SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira – Astronomia & Astrofísica, 3ª edição, São Paulo: Editora livraria da Física – 2014.

OLIVEIRA, Jorge Henrique Lopes de – Noções de Cosmologia no Ensino Médio: O paradigma criacionista do Big Bang e a inibição de teorias rivais – Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Maringá – 2006.

RIBEIRO, Marcelo Byrro & VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (scientiæstudia, São Paulo, v. 2, n. 4, p. 519-35, 2004)- Cosmologia e pluralismo teórico.

SARAIVA, Maria de Fátima – Expansão do Universo – Simulação da constante de Hubble por meio do esticamento de um elástico - acessado em 21/07/2015.

<http://www.if.ufrgs.br/~fatima/trabalhos/ldh.html>

SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira, etall. Aula 11 distâncias Astronômicas. IF UFRGS (<http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/Aula11-122.pdf>)

SEED Sitio planet – acessado em 21/07/2015. <http://www.planetseed.com/pt-br/laboratory/experiencia-constante-de-hubble>

SILK, Joseph. O Big Bang: A origem do universo. Tradução de Fernando Dídimo Pereira Babosa Vieira. 2ª ed. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 1988, c1980.

SINGH, Simon, Big bang, tradução de Jorge Luiz Calife – Rio de Janeiro: Editora Record, 2006.

SOARES, Domingos S. L. O efeito Hubble - Departamento de Física, ICEx, UFMG — C.P. 70230123-970, Belo Horizonte, MG, 2009. (acessado em dezembro de 2014).

_UGE, Universo da Gominha Esticada, Revista brasileira do Ensino de Física, v. 36. n. 4, 4301 (2014).

VERDET, Jean-Pierre – O Céu, mistério, magia e mito. São Paulo: Editora Objetiva. – 1987

WAGA, Ioav. A Expansão do Universo (The Expansion of the Universe) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física - Rio de Janeiro, RJ, 21945-970, Brasil Recebido em 31 de março, 2000 Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 22, no. 2, Junho, 2000.

WEINBERG, S., Os Três Primeiros Minutos: Uma Discussão Moderna sobre a Origem do Universo, Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980.

WUNSCHÉ, Carlos Alexandre. A lei de Hubble – INPE – 2005 <http://www.das.inpe.br/cosmo/intro-cosmo/node4.html>

<http://www.educacao.sp.gov.br/noticias/saresp-tem-a-maior-adesao-de-toda-a-sua-historia> (acessado em 25/11/2015).

Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo. <http://www.iag.usp.br/pos/node/8155>. Acessado em 12/08/2015

O PRODUTO

PROPOSTA E DESENVOLVIMENTO DA UEPS

PROPOSTA DE UEPS (Unidade de Ensino Potencialmente Significativa)

Ismerindo Laube de Oliveira

Mestrado Nacional Profissional Em Ensino de Física Polo UFABC

A determinação da constante de Hubble

Objetivo: Discutir Cosmologia no ensino médio usando como pretexto a constante de Hubble.

1) Situação inicial:

A construção do mapa mental.

Levantamento dos conceitos prévios dos alunos acerca Universo e sua evolução espaço-temporal.

- Propor uma atividade na qual os alunos fazem uma representação livre do universo na forma de desenho ou texto.
- Aplicar um questionário para coletar as concepções dos alunos em relação ao Universo.
- Socializar os resultados do questionário, nesse caso, cada grupo de alunos elabora uma lista com os objetos que em sua concepção compõem o universo e suas dimensões.

2) Organizadores prévios:

- Apresentar um vídeo de curta duração sobre a visão científica do Universo, como por exemplo, *O universo visto pelo telescópio Hubble*.
<https://www.youtube.com/watch?v=epOzDJvqWYY> Acessado em 07/10/2014, 6min38s.

Situação problema 1: Propor aos alunos a questão: O universo sempre existiu ou foi criado? Justifique sua resposta. Pedir que os alunos respondam com base no que e como realmente acreditam.

3) Realização de um experimento de medição indireta por paralaxe conforme roteiro no apêndice I.

Situação problema 2: O método utilizado no experimento anterior pode ser aplicado para grandes distâncias como as astronômicas? (Discussão em grupo e posterior socialização)

4) Aula expositiva sobre unidade de medidas de distâncias astronômicas: U.A (Unidade Astronômica), ano-luz e Pc (Paralaxe por Segundo). Texto de referência em: <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/Aula11-122.pdf>. Acessado em 07/10/2014

Realização de pesquisa pelos alunos, utilizando internet, sobre as galáxias do Novo Catálogo Geral (NGC): NGC1357, NGC1832, NGC2775 e NGC2903, tipos e distâncias em relação ao sistema solar.

5) Situação problema 3:

Como o método da paralaxe é possível determinar se um corpo celeste está em movimento?

6) Realização de um experimento sobre o efeito Doppler conforme anexo II.

E exibição de um vídeo, como o que está postado em: <https://www.youtube.com/watch?v=pwoxwpOLcW4>

7) Revisitação dos conceitos de ondulatória:

Conceitos de ondas, comprimento de onda, frequência e velocidade (equação da onda) e efeito Doppler para o som.

Texto de referência no anexo2.

8) Situação problema 4:

Como é possível saber a composição química dos corpos celestes?

9) Confecção de protótipo de um espectroscópio, conforme anexo 3.

E observação dos espectros de emissão de lâmpadas fluorescentes, incandescentes, do sol, de lanternas e de aparelhos de celular.

10) Aula expositiva:

Revisitação do espectro eletromagnético e recorte do espectro da luz visível: níveis eletrônicos nos átomos.

Texto de referência em: <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>

Acessado em 07/10/2014

11) Aula expositiva:

Combinação dos diversos conhecimentos até então, para fundamentação do redshift do espectro luminoso (desvio para o vermelho).

Texto de referencia em: <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>

Acessado em 07/10/2014

Realização de pesquisa pelos alunos, utilizando internet, sobre os comprimentos de onda observados da Terra das galáxias do Novo Catálogo Geral (NGC): NGC1357, NGC1832, NGC2775 e NGC2903.

12) Aula expositiva:

Cálculo do redshift e da velocidade de recessão das galáxias pesquisadas pelos alunos.

13) Construção pelos alunos de um gráfico da velocidade de recessão em função da distância, das galáxias pesquisadas.

- Verificação da relação de proporção entre a velocidade de recessão das galáxias e a distância, a partir do gráfico.

14) Experimento sobre afastamento de pontos marcados ao longo de um elástico e determinação da constante de esticamento dos pontos.

http://sac.csic.es/astrosecundaria/pt/cursos/formato/materiales/talleres/T8_pt.pdf

Ativ. 4

- Discussão sobre a lei da expansão do universo: Texto referencia em: <http://www.das.inpe.br/cosmo/intro-cosmo/node4.html>. Acessado em 07/10/2014

15) Lei de Hubble e cálculo da idade do Universo.

16) Avaliação:

O processo avaliativo ocorre de modo contínuo. Todas as atividades realizadas pelos alunos podem ser utilizadas como avaliação, deixando para o último encontro apenas a avaliação da UEPS.

Público-alvo

- Turmas do 3º ano do Ensino Médio.

- Tempo estimado: entre 12 e 16 aulas de 50min cada.

APÊNDICE

ISMERINDO LAUBE DE OLIVEIRA

**RELATÓRIO DE APLICAÇÃO DA UESPS: A DETERMINAÇÃO DA
CONSTANTE DE HUBBLE, NA E.E. JOSÉ LINS DO REGO**

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Ismerindo Laube de Oliveira, apresentada ao programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do ABC – UFABC, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

SANTO ANDRÉ
2016

APRESENTAÇÃO

Desde os Sumérios (3000 a.C.) a compreensão do Universo passou por diversas mudanças, mas parece que o geocentrismo foi o modelo que mais influenciou as pessoas, de modo que ainda hoje não é tarefa fácil convencê-las de que a Terra não é o centro do Universo. As noções de galáxias como mundos distantes do nosso foram iniciadas no século 18 com o filósofo Alemão Immanuel Kant e observadas no séc. 19 pelo Astrônomo William Hershel e, em 1929, Edwin P. Hubble concluiu que muitas das galáxias por ele observadas afastavam-se mutuamente, confirmando a teoria de um universo em expansão propostas por G. Lemaître e A. Friedmann.

A proposta desse trabalho foi a de promover uma maior aproximação entre esses saberes a respeito da evolução do Universo e os alunos da escola básica, nesse caso, os do terceiro ano do Ensino Médio da Escola Estadual José Lins do Rego. Espera-se com isso que eles possam discutir esse tema, não mais como leigos.

JUSTIFICATIVA

Diariamente são veiculadas, nos diversos meios de comunicação, notícias sobre o Universo, mas notícias como essas, na maioria dos casos, não tem conotação educativa, o que resulta em informações passageiras as quais as pessoas leem como qualquer outra, e, por tratarem-se de informações com linguagem científica específica quase sempre não são compreendidas pela maioria dos leitores. Para tanto se faz necessário que a escola participe no sentido de contribuir com uma educação científica para que seus alunos não façam parte dos incompreendidos no que refere às notícias de cunho cosmológicas. Desse modo, os termos espectro luminoso, redshift, Parsec, anos-luz, unidade astronômica, velocidade de recessão de galáxias, entre outros, deverão fazer parte do vocabulário natural dos alunos.

OBJETIVOS GERAIS

Discutir a cosmologia a partir da determinação da constante de expansão do Universo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Calcular distâncias pelo método da paralaxe a partir de um experimento simples, realizar um experimento didático para verificação do efeito Doppler, confeccionar um protótipo de um espectroscópio didático para observação dos espectros luminosos, calcular o desvio para o vermelho, realizar um experimento do esticamento de um elástico sobre a escala de uma régua e através da filmagem com aparelho de celular, estabelecer a relação entre as distâncias dos pontos marcados no elástico com as velocidades de afastamento dos mesmos para posteriormente fazer analogia com a expansão do Universo, construir o gráfico das distâncias em função das velocidades de quatro galáxias do NGC, para determinação da constante de expansão do Universo e calcular a idade do Universo com base no modelo do big bang.

PÚBLICO ALVO

Alunos das 3^{as} séries A, B, C, D, E e F de 2014 e A, B, C, D, E, F, G e H de 2015, do período matutino do Ensino Médio da E.E. José Lins do Rego. (Diretoria Regional Sul2), São Paulo capital.

CONTEÚDO FÍSICO

Ondas, efeito Doppler, Campo gravitacional, velocidade de recessão de galáxias, espectro da luz visível, modelos atômicos, desvio para o vermelho, princípios de relatividade de Einstein e unidades de medidas astronômicas.

CARACTERIZAÇÃO DAS TURMAS

Em termos pedagógicos as turmas dos terceiros anos do Ensino médio (tanto os de 2014 quanto os de 2015, com pequenas variações), são em geral, bastante heterogêneas, isto é, poucos alunos com facilidade de aprendizado e com pretensões quanto à continuidade dos estudos em nível superior, além disso, são

turmas nas quais muitos alunos estão juntos desde o 1º ano do Ensino Médio, o que os torna bem integrados.

A ESCOLA

A E.E. José Lins do Rego, uma escola de Ensino Médio situada numa região periférica da cidade de São Paulo nas proximidades do *Capão Redondo* e do *Jardim Ângela*, na zona sul, ambas as regiões com histórico passado de violência urbana, ainda atualmente com grande incidência de pobreza e parca presença do poder público. Um quadro que parece mudar lentamente graças às ações de ONGs e grupos de pessoas que contribuem com a discussão permanente sobre a valorização da vida e a convivência pacífica entre as pessoas. Esse perfil da comunidade aparece dentro da Escola, apesar de muitos alunos residirem num raio de até 10 km. É uma Escola de porte médio a grande, conta com 16 salas superlotadas, que funcionam em três turnos, com média de 40 alunos cada.

Apesar de poucos recursos materiais, essa escola tem a tradição de buscar a inovação pedagógica, o que facilitou a aplicação de nosso trabalho.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Tanto em 2014 quanto em 2015 a análise da aplicação desta sequência de atividades, em sua maioria foi realizada por amostragem. Em se tratando de grupos, foi escolhido um grupo por sala (de modo aleatório). Já em casos de atividades individuais, foram sorteados os trabalhos de 32 alunos.

ESTRATÉGIA E CRONOGRAMA DOS ENCONTROS (AULAS)

Em seguida serão apresentadas as estratégias utilizadas durante a aplicação da sequência (Proposta de UEPS) no ano de 2014. Como a aplicação foi repetida em 2015, são apresentadas as modificações necessárias para correção/adaptação às novas turmas.

✓ PRIMEIRO ENCONTRO – 04/11/2014

1. Situação inicial: A construção do mapa mental.

a) Individualmente, propus que os alunos fizessem uma representação livre do universo (desenho, texto ou dramatização).

b) Aos grupos com 4 alunos cada, solicitei uma lista com todos os objetos que considerassem que compunham o universo (se eram grandes ou pequenos comparados com a nossa Terra, suas distâncias de nós, se estavam em movimento ou não).

Obs 1. Embora eu não tenha mencionado, alguns grupos perceberam a necessidade do referencial para dizer o tamanho dos objetos e se estavam em movimento.

c) Em grupos, pedi que os alunos fizessem um desenho do universo, destacando a Terra, o Sol e a nossa galáxia.

Após a realização das três atividades acima, cada grupo elegeu um representante para defender suas ideias.

Para finalizar esta primeira aula, os alunos responderam à questão abaixo.

Questão 1 - O universo sempre existiu ou foi criado? Justifique sua resposta. Responda o que e como você realmente acredita.

Obs 2. Com relação aos itens (a) e (c) desse primeiro encontro, as figuras e desenhos apresentados pelos alunos vão das concepções religiosas até uma mistura de concepção científica com *concepção ingênua* (BISCH, 1998, p.12 e 13).

Obs 3. Em 2015 essa atividade foi substituída por um questionário (Apêndice) com respostas individuais para que os alunos expressassem sua concepção do Universo. A substituição pelo questionário teve um aspecto positivo que foi a de agilizar a análise das respostas e ter quantificado a defasagem dos alunos em relação à astronomia. Por outro lado, parece que esse tipo de pré-teste dificultou que os alunos refletissem sobre as respostas dadas, uma vez que no tipo anterior ficou claro que eles pensavam nas respostas e as questionavam durante suas apresentações para os colegas.

Obs 4. Após a aplicação do questionário e tabulação das respostas, verifiquei uma profunda defasagem dos alunos em relação a conceitos básicos de astronomia. Essa conclusão exigiu a interrupção imediata do programa proposto para que eles tivessem acesso às noções básicas sobre o Universo. Para atender a essa demanda preparei um resumo de introdução à astrofísica: O Universo em larga escala, as Galáxias, Buracos negros, Quasares, Nosso Sistema solar e a Terra.

Essas apresentações foram realizadas durante 03 aulas.

2) Situação-problema: Entreguei a cada grupo uma lista de questões de livre resposta.

a) Como foi possível concluir que a distância da Terra à lua é de aproximadamente 380 mil quilômetros?

b) Pensem em um método para determinar se um astro está em movimento ou em repouso.

c) Como saber que tipo de substância (elemento químico) existe nos corpos celestes?

d) O universo tem um centro? Se sim, onde ele deve se localizar?

Quando todos os grupos terminaram, já estava próximo do final da aula, foi apresentado o vídeo de curta duração, sobre o Universo. <https://www.youtube.com/watch?v=epOzDJvqWYY>. *O universo visto pelo telescópio Hubble*. Acessado em 07/10/2014, duração de 6min38s. Tempo gasto para os itens 1 e 2: 2 aulas de 50min. cada.

✓ SEGUNDO ENCONTRO – 11/11/2014

Solicitei que os grupos da aula anterior fossem mantidos e entreguei a cada grupo um roteiro (apêndice I) para realizarem o cálculo da distância entre a parede do fundo da sala de aula até a lousa (determinação de distâncias por paralaxe).

Evitei qualquer comentário enquanto eles liam e executavam as propostas do roteiro.

- Após o cálculo da distância solicitei que discutissem a validade dos resultados encontrados e fizessem a verificação, medindo com uma trena, a distância que calcularam.

Os resultados dos cálculos ficaram entre 3,70m e 7,20m (cada grupo anotou seu resultado na lousa para posterior discussão), sendo que a distância real medida com a trena foi de 7,00m.

- Em seguida cada grupo recebeu uma lista com as seguintes perguntas:

a) O método usado para calcular a distância entre o fundo da sala e a lousa é válido para qualquer distância? Discuta com os colegas e apresentem aos demais grupos a conclusão a que chegaram.

b) Certo jornal noticia que a distância entre o Sol e a Terra é de 150 milhões de quilômetros. Essa informação é 100% confiável? E a distância noticiada é 100% correta? Discutam e apresentem aos demais grupos suas conclusões.

Tempo previsto: 1 aula de 50min.

Tempo gasto: 2 aulas de 50min.

Obs 1. Houve demora na compreensão do roteiro.

Obs 2. Em 2015 o item 3 foi modificado por sugestão da professora Dra. Laura Paulucci da UFABC, durante o simpósio, naquela universidade, ocasião da apresentação de nosso projeto. A sugestão foi utilizar um transferidor de graus adaptado conforme detalhado no apêndice 3 e propor que os alunos escolhessem um objeto qualquer no pátio da Escola, cuja observação fornecesse dados para a determinação da distância.

A nova proposta foi realizada individualmente, enquanto a primeira exigia a realização em dupla, na primeira proposta um aluno observava e o outro marcava os pontos na lousa. Nesse caso os alunos questionaram que não era possível ter alguém na lua para fazer as marcações. Já na segunda proposta cada aluno trouxe pronto o seu transferidor adaptado e fez a observação. Ao final, os alunos demonstraram maior confiabilidade na proposta de 2015. Para eles, pareceu mais com um “método científico”.

Obs 3. Em avaliação os alunos concluíram a relação entre a distância e a paralaxe, isto é, de que quando a distância aumenta a paralaxe diminui, diminuindo assim a precisão da medida e exigindo aparatos mais refinados.

✓ TERCEIRO ENCONTRO – 18/11/2014

Aula expositiva sobre unidade de medidas de distâncias astronômicas: Cada grupo recebeu o texto referência com atividades de fixação e reflexão, nesse, foram apresentados os seguintes conteúdos: Unidades de medidas astronômicas (U.A, Parsec, e ano-luz), definição de paralaxe, paralaxe geocêntrica e paralaxe heliocêntrica.

O texto de referência utilizado foi o da Professora Maria de Fatima Saraiva (UFRGS), em: <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/Aula11-122.pdf>. O texto foi adaptado para atender as necessidades dos alunos do nível médio. Acessado em 07/10/2014.

Tarefa para casa

Ainda nesta aula foi proposta uma tarefa para casa, para a próxima aula:

Realizar pesquisa sobre informações de algumas galáxias e preencher a primeira e segunda coluna da Tabela 1 (apêndice V), tipo de galáxia e distância do sistema solar.

Tempo previsto: 1h.a de 50min. Tempo gasto: 1 aula de 50min. Mas a discussão das atividades de fixação ficou para o próximo encontro.

✓ QUARTO ENCONTRO – 25/11/2104

Discussão das questões da aula anterior.

- Discussão sobre a pesquisa proposta na aula anterior*
- Construção do protótipo de um espectroscópio (apêndice III).

*Esta atividade faz parte de uma atividade maior no final dos encontros, as distâncias serão plotadas com a velocidade que será calculada posteriormente.

Obs. O protótipo de espectroscópio foi construído com base no modelo do caderno do aluno (volume 2), esse caderno é parte do material didático fornecido aos alunos pela Secretaria da Educação do estado de São Paulo.

Aula expositiva sobre espectro luminoso: Foram discutidos o modelo atômico padrão o qual explica as linhas espectrais.

Texto de referência em:

<http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>, Acessado em 07/10/2014

- Apresentação do aplicativo PHET sobre modelos do átomo de hidrogênio.

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/hydrogen-atom

- Tarefa para casa:

*Pesquisar o valor do comprimento de onda observado para as galáxias pesquisadas anteriormente e preencher a quarta coluna da tabela 1.

Tempo previsto: 2 aulas de 50min.

Tempo utilizado: 2 aulas de 50min. cada.

*Juntamente com a pesquisa proposta no terceiro encontro, os comprimentos de onda pesquisados neste item serão utilizados no cálculo do desvio para o vermelho, no próximo encontro.

✓ QUINTO ENCONTRO – 02/12/2014

Experimento sobre efeito Doppler do som e discussão sobre o redshift: apêndice IV.

Cada grupo saiu alternadamente da sala e realizaram o experimento no pátio a fim de não atrapalhar as aulas das demais salas, devido ao forte barulho do zumbidor.

Essa atividade durou cerca de 30 minutos, foi realizada por seis grupos de 6 alunos cada.

Depois que todos os grupos fizeram o experimento foram exibidos os vídeos abaixo:

- i) https://www.youtube.com/my_videos?o=U Realizado por mim com apoio de meu filho Maximiliano e Postado em 07/10/2014
- ii) <https://www.youtube.com/watch?v=O5U9qj49CI4>, Em Física total, aula do Prof. IvysUrquiza. Acessado em 07/10/2014, 7min
- iii) <https://www.youtube.com/watch?v=5F0YWabT7Q4>, Trecho da série big bangtheory. Acessado em 07/10/2014, 30s

Tarefa para casa:

a) os alunos deverão calcular o redshift para as galáxias da tabela 1, conhecidos os comprimentos de onda para cada uma, usando como referência, 6562,8 Angstroms que é o comprimento de onda do hidrogênio na região alfa e preencher a coluna 5 da tabela 1.

b) Os alunos deverão calcular a velocidade de recessão das galáxias e preencher a coluna 6 da tabela 1.

Tempo Previsto: 2 aulas de 50min cada. Tempo Utilizado: 2 aulas de 50min cada.

✓ SEXTO ENCONTRO – 09/12/2014

Lei de Hubble e a idade do universo:

- Discussão das atividades realizadas como tarefa de casa na aula anterior.
- Experimento sobre afastamento de pontos marcados na superfície de um balão, só demonstração. http://sac.csic.es/astrosecundaria/pt/cursos/formato/materiales/talleres/T8_pt.pdf Ativ. 4
- Discussão sobre a lei da expansão do universo:

Texto referência em: <http://www.das.inpe.br/cosmo/intro-cosmo/node4.html>
Acessado em 07/10/2014

Atividades realizadas em sala de aula:

- Considerando os dados da tabela 1 que foram preenchidos com resultados das pesquisas realizadas no terceiro, quarto e quinto encontros:

- a) Construir o gráfico da distância em função da velocidade de recessão das galáxias da tabela 1,
- b) Calcular a constante de Hubble (H), usando a relação $v = H.D$.
- c) Calcular a idade do universo (usando a relação $t = 1/H$).

Tempo estimado: 2h.a. de 50min. Tempo gasto: 2h.a. de 50 min.

Obs 1. Em 2015 a atividade do balão foi substituída pela atividade do esticamento do elástico conforme detalhes em apêndice VII.

Obs 2. Ainda em 2015 os alunos realizaram duas outras atividades: lista de questões (apêndice XII) e a avaliação final dos trabalhos desenvolvidos ao longo dos encontros (Apêndice VIII).

CONCLUSÃO

O principal objetivo desse trabalho foi discutir aspectos importantes da cosmologia a partir do cálculo da constante de Hubble, para tanto, fez-se incursões diversas nos conteúdos de física do Ensino médio, alguns desses conteúdos foram novidades para alguns alunos, outros, foram vistos em anos anteriores e, por isso, lembrados.

Propusemos atividades com tempos rigorosamente cronometrados. Cada encontro contou com duas aulas de 50min. Teve início meio e fim e avaliação. Encontramos dificuldades variadas, tais como falta de recursos materiais, mas contornamos essas vicissitudes contando imensamente com a compreensão e cooperação dos estudantes, as cópias de alguns textos e atividades foram feitas às minhas expensas, e usei outros recursos próprios como projetor de multimídia e aparelho de áudio para compensar a ausência dos recursos da escola, lembrando que em 2014, ano em que aplicamos esse trabalho pela primeira vez, havia quatro salas equipadas com projetor de multimídia e sistema de áudio, já em 2015 somente um Datashow móvel esteve pronto para ser usado e compartilhado entre todos os professores da unidade escolar.

No encontro do dia 18/11/2014 tivemos que fazer alterações no cronograma, visto que muitos alunos já apontavam para a possibilidade de deixarem de vir à escola a partir da segunda semana do mês de dezembro. Nesse caso, concordamos que uma das atividades sobre o balão seria ser realizada apenas como demonstração. Razão pela qual em 2015 aplicamos esta atividade no segundo bimestre. Apesar de outra dificuldade ter interferido, a paralisação dos professores que se deu entre o segundo e terceiro bimestre, em nossa escola a paralisação ocorreu maneira parcial, muitos alunos faltaram e, por isso, as atividades foram realizadas apenas por poucos grupos.

Mesmo com a dificuldade da última apresentação do dia 09/12/2014, foram discutidos os fundamentos observacionais e teóricos que conduziram à aceitação do chamado modelo do big bang.

Quanto aos resultados apresentados pelos alunos nas avaliações realizadas durante o curso, podemos apontar três aspectos relevantes à aplicação da UEPS: as causas dos resultados positivos, os resultados negativos e as modificações necessárias para melhor aproveitamento dos alunos.

a) Os resultados positivos: Análise dos resultados da avaliação proposta no final de 2015 mostra, do nosso ponto de vista, que os encaminhamentos e a metodologia das atividades foram decisivos. Haja vista o maior número de alunos das turmas C/D que acertaram questões as quais os alunos da turma A não acertaram (ver gráficos do item XI do apêndice). A explicação para tal ocorrência pode ter sido a não aplicação dos experimentos na turma A, que foi escolhida propositalmente como grupo de controle.

b) Apesar de muitos alunos se envolverem nas atividades, as avaliações (no decorrer dos trabalhos) indicaram o desejo de boa parte deles em não quererem ser avaliados, por exemplo, durante a atividade das medidas por paralaxe, todos participaram, mas, no momento de descrever os procedimentos como parte do trabalho, alguns grupos recusaram-se a entregar, alegando simplesmente que se esqueceram de fazer. Mesmo sendo oferecido outro prazo, muitos deixaram de entregar. Outra situação observada foi o claro desinteresse dos alunos quando a parte do trabalho envolvia aulas expositivas, que ficou bem evidente mais uma vez, no caso das duas aulas sobre unidade de medidas astronômicas.

c) Entre as atividades trabalhadas no ano de 2014 e as de 2015 foram propostas modificações importantes, cujos resultados se mostraram:

-POSITIVA: A medida da paralaxe (explicada no desenvolvimento da sequência).

- POSITIVA: A atividade do efeito Doppler: em 2014 o experimento foi realizado como demonstração, já em 2015 cada grupo realizou e descreveu o experimento.

- NEGATIVA: Uma alteração que não se mostrou positiva foi a troca das questões abertas sobre as concepções de Universo (aplicada em 2014) pelo questionário com alternativas fechadas (aplicado em 2015), como foi discutido, é necessário uma melhor análise.

Um aspecto relevante durante a aplicação desta UEPS foi a verificação de que muitos dos nossos alunos terem profundo desconhecimento de aspectos básicos de astronomia. Essa situação sugere que antes de começar a aplicação da referida UEPS torna necessária uma abordagem introdutória sobre a astronomia (pelo menos quatro aulas), a fim de reduzir essa discrepância.

REFERÊNCIAS

ALMOULOU, S. A.; COUTINHO, C. D. Q. E. S. Engenharia Didática: características e seus usos em trabalhos apresentados no GT-19/ANPEd. REVEMAT: Revista Eletrônica de Educação Matemática, Florianópolis, SC, v. 3, p. 62-77, 2008.

ARTIGUE, M. L'ingenieriedidactique: uninstrument privilegie pour une priseen compte de lacomplexité de la classe. 11^o International Conference on the Psychology of Mathematics Education. BERGERON, J. C. Montreal, Canada. I-III: 19-25 p. 1987.

BISCH, Sérgio Mascarello. Astronomia no Ensino Fundamental: Natureza e Conteúdo do Conhecimento de Estudantes e Professores. Tese de Doutorado. FE USP – São Paulo, 1998

MARTINE, Méheut a & DIMITRIS PsillosbaUniversité Paris 7, France E-mail: b AristotleUniversityofThessaloniki , GreecePublished online: 22 Feb 2007.

<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/09500690310001614762#.VEQDoPldVw>

MOREIRA, Marco Antonio - Unidades Potencialmente Significativas (Artigo), Instituto de Física da UFRGS – Porto Alegre – RS.

MORENO, Ricardo, DEUTSA, Susana – Expansão do Universo (Sequência didática) – InternationalAstronomical Union - Colégio Retamar (Madrid – Espanha)

SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira, etall. Aula 11 distâncias Astronômicas. IF UFRGS (<http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/Aula11-122.pdf>)

STURDART, Nelson. Notas de aulas. UFABC – 2014.

WUNSCH, Carlos Alexandre. A lei de Hubble – INPE – 2005.

Obtendo distâncias por paralaxe parte 1

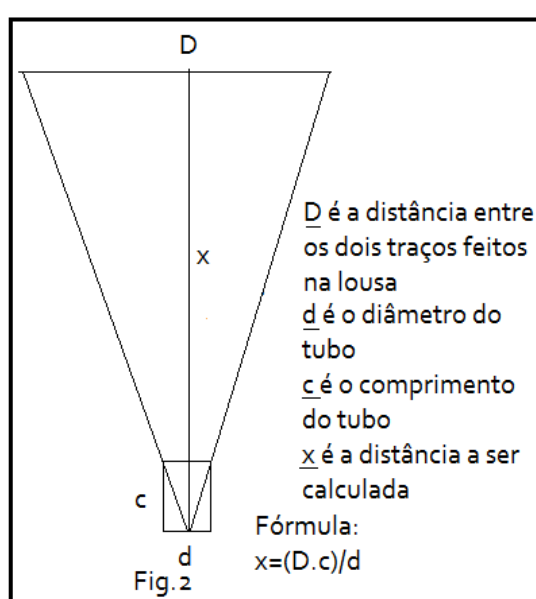
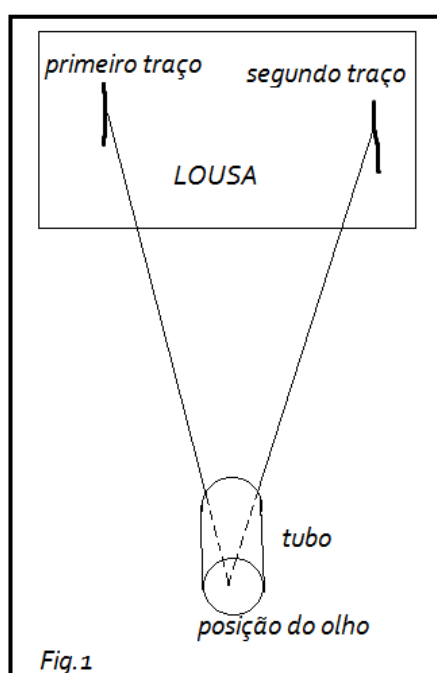
Prof. Ismerindo Laube de Oliveira – 2014

Material utilizado

- Pedaco de cartolina (com medidas aproximadas de 8 cm x12cm)
- Régua.
- Calculadora ou aparelho de celular.
- Fita adesiva ou cola.
- Tesoura

Procedimentos:

- I - Confeccione um tubo com cartolina com as medidas citadas.
- II - Uma pessoa vai até a parede do fundo da sala, com a parte de trás da cabeça encostada na parede, olha através do tubo e solicita ao colega que faça um traço vertical na lousa (primeiro traço, conforme o esquema da fig.1).
- III - A pessoa que está olhando pelo tubo procura alinhar o traço com uma das extremidades do tubo e, mantendo essa posição, pede ao colega que faça outro traço que coincida com a segunda extremidade do tubo (segundo traço da fig.1).
- IV - Em seguida meça a distância entre os dois traços, o diâmetro e o comprimento do tubo.
- V - Utilize a fórmula dada na fig.2 para calcular a distância x solicitada.



Obtendo distâncias por paralaxe parte 2

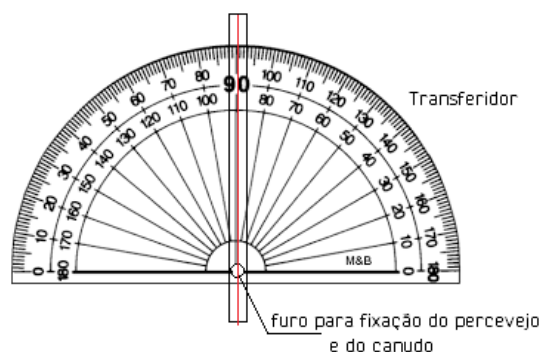
Prof. Ismerindo Laube de Oliveira - 2015.

Material utilizado:

- Transferidor (180°)
- percevejo
- Canudo de refrigerante (grosso).
- Régua ou fita métrica.

Montagem:

Faça um furo central no transferidor e fixe o percevejo e o pedaço de canudinho, como na figura da direita.

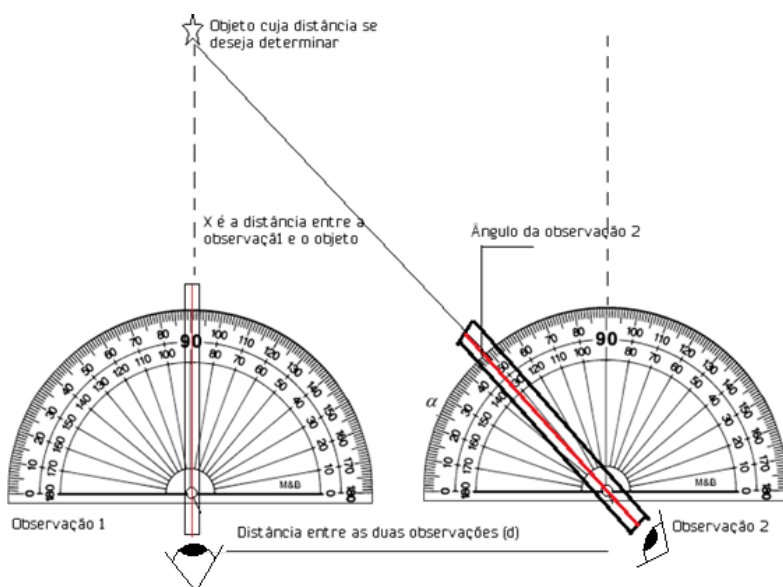


Procedimento para medida

- a) Faça uma primeira observação de modo que uma marcação do canudo coincida com 90° (observação1).
- b) Mantendo a posição do transferidor, desloque alguns passos para a direita da primeira observação e incline o canudinho para obter a segunda observação e anote o ângulo interno, no exemplo, 48° aproximadamente, meça a distância entre as duas observações (d).

Cálculo:

O triângulo formado entre as observações e o objeto possui duas informações, o ângulo e a distância, assim, pode-se determinar a distância desejada aplicando a tangente do ângulo conhecido.



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{X}{d}, \quad X = d \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Roteiro para confecção de um espectroscópio

Prof. Ismerindo Laube de Oliveira - 2014

(Adaptado de: LAPEF – USP/FE)

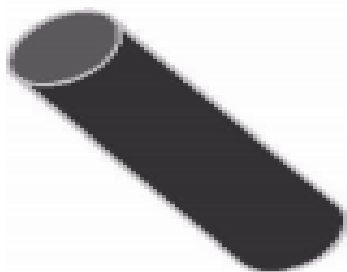
Materiais

- fita isolante • fita adesiva • papel color set preto • 1 CD* • cola • régua
- estilete • tesoura
- tubo papelão (ex.: tubo de papel higiênico)

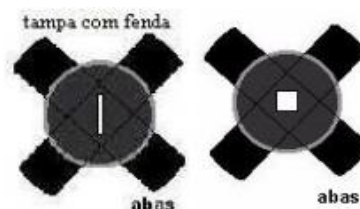


Procedimentos

- 1º- Com o papel color set construa um cilindro com aproximadamente 4 cm de diâmetro e de 7 a 10 cm de comprimento. Use um tubo de papelão (tubo de papel higiênico ou papel toalha) como base. Se desejar, você pode substituir o tubo de papel por um tubo de PVC preto. Também é possível usar uma caixa de creme dental (o formato não é importante), mas tenha o cuidado de revesti-la internamente com papel preto.



- 2º- Faça duas tampas** com abas para o cilindro utilizando o papel preto. Em uma delas, use um estilete para recortar uma fenda fina (mais ou menos 2cm x 1mm). Na outra tampa, faça uma abertura no centro (mais ou menos 1cm x 1cm). Observe as ilustrações ao lado.



- 3º- Retire a película refletora do CD usando fita adesiva (grude-a na superfície e puxe-a, como numa depilação). Se necessário, faça um pequeno corte com a tesoura no CD para facilitar o início da remoção.



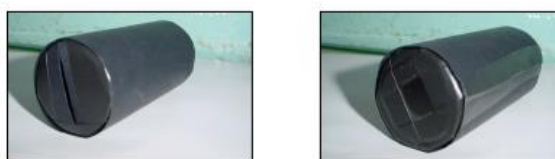
- 4º- Depois de retirada a película, recorte um pedaço do CD (mais ou menos 2cm x 2cm). Utilize preferencialmente as bordas, pois as linhas de gravação (que não enxergamos) são mais paralelas, conseqüentemente a imagem será melhor. É importante fazer uma marcação no pedaço recortado do CD para não esquecer qual a orientação das linhas (em qual posição as linhas são paralelas)



4º- Cole as tampas no cilindro, deixando a fenda alinhada com a abertura. Fixe o pedaço recortado do CD na tampa com a abertura, usando a fita isolante apenas nas bordas. Preferencialmente, alinhe as linhas de gravação paralelamente à fenda do espectroscópio, assim as imagens que observaremos também estarão alinhadas com a fenda. Caso opte por usar cola, tenha cuidado para não sujar a superfície do CD. Nesse caso, fixe o pedaço de CD na parte interior do espectroscópio e aguarde o tempo necessário para a cola secar.



5º- Para evitar que a luz penetre no interior do tubo por eventuais frestas, utilize fita isolante para vedar os pontos de união entre o cilindro e as tampas.



Na realização da proposta sugerimos a confecção com tubo de pvc de $\frac{3}{4}$ de polegada, o qual os alunos já trouxeram cortado na medida certa (entre 10 e 15 cm).

Experimento sobre o efeito Doppler do som

Prof. Ismerindo Laube de Oliveira - 2014

Adaptação do experimento de Ricardo Moreno e Susana Deustua
(http://sac.csic.es/astrosecundaria/pt/cursos/formato/materiales/talleres/T8_pt.pdf)

Material utilizado:

- 1 alarme zumbidor (desses de porta)
- 1 pé de meia
- 2m de barbante e um cabo de vassoura (como suporte).

Procedimento:

- Colocar o zumbidor dentro da meia (apenas por segurança).
- Amarrar a meia em um suporte (ex. cabo de vassoura) por meio do barbante.
- Ligar o zumbidor e girar o suporte de modo que a meia com o zumbidor gire em círculo, aproximando-se e afastando-se do observador parado a certa distância da qual está o aparato (fig.3).



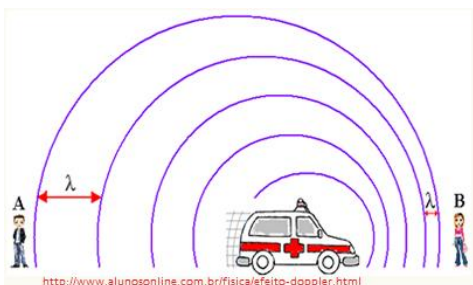
Fig.3 (esquerda): zumbidor, meia, fio e suporte.

Fig.4 (direita), O zumbidor posto a girar em círculo ao redor do suporte (cabo de vassoura) nesta imagem o observador foi o fotógrafo.

O fenômeno

Esse efeito se aplica a situações nas quais uma fonte sonora afasta-se ou aproxima-se de um observador em repouso ou em movimento. Vamos considerar aqui apenas o caso em que o observador se encontra em repouso (parado a certa distância do suporte com o alarme).

Quando o zumbidor se afasta do observador as ondas sonoras chegam ao observador em tempos cada vez maiores, assim, com maior comprimento de onda e, conseqüentemente, menor frequência (o que dá um som grave). Ao contrário, quando o zumbidor se aproxima, as ondas sonoras chegam com tempos cada vez menores, menor comprimento de onda e maior frequência (som agudo).



De modo semelhante, se observa na figura da esquerda, o comprimento de onda λ aumenta para o observador da esquerda (A) e diminui para o da direita (B).

Sejam:

f_{ap} = frequência percebida pelo observador em repouso

f = frequência da fonte sonora, v = velocidade do som, v_F = velocidade da fonte

Vale a relação :
$$f_{ap} = f \cdot \frac{v}{v \pm v_F}$$

O sinal - indica que a fonte se aproxima e + indica que ela se afasta.

Desvio para o vermelho (Redshift)

Em muitos fenômenos a luz tem comportamento ondulatório, analogamente à uma fonte sonora, quando uma fonte luminosa se ou aproxima-se afasta de um observador, ocorre o efeito Doppler. Analisando esse comportamento da luz os Astrônomos e Astrofísicos estabelecem os movimentos dos corpos celestes em relação à Terra. Eles sabem que quando uma fonte luminosa se aproxima de um referencial a frequência aumenta e o comprimento de onda diminui, esse deslocamento é chamado de desvio para o azul (a parte azul do espectro luminoso possui frequências cada vez maiores e comprimentos de onda menores), já quando o corpo se afasta do referencial a frequência diminui e o comprimento de onda aumenta, esse deslocamento é chamado de desvio para o vermelho (a parte vermelha do espectro luminoso possui frequências cada vez menores e comprimentos de onda maiores).

luz diminui, no espectro os valores decrescentes de comprimentos de onda se dá na faixa vermelha, chamado de desvio para o vermelho ou redshift.

Cálculo do Redshift (z): O redshift é definido pela relação

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}, \lambda_0 \text{ é o comprimento da luz medido em laboratório, } \lambda \text{ é o comprimento da luz observada}$$

Para valores muito pequenos de z, vale a relação:

$$z = \frac{v}{c}, c \text{ é velocidade da luz e } v \text{ é a velocidade do objeto observado}$$

$$\frac{v}{c} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

I. **TABELA 1**

GALÁXIA	TIPO (espiral, elíptica ou irregular)	DISTÂNCIA (EM MPC)	Comp. De onda Observado (A)	Redshift	Velocidade (km/s)
NGC1357					
NGC1832					
NGC2775					
NGC2903					

Esticamento linear de um elástico: Simulação da lei de Hubble

Ismerindo Laube de Oliveira-2015

1ª Parte: O experimento

1) Material necessário:

- Elástico (liguinha de dinheiro).
- Régua.
- Aparelho de celular que filma.

2) Número de componentes: 02

3) Objetivos

- Determinar a constante de esticamento do elástico.
- Comparar o esticamento do elástico, com a expansão das galáxias demonstrada pela lei de Hubble.
- Compreender a recessão das galáxias como o aumento das dimensões do espaço-tempo.

4) Procedimentos:

I) Faça um corte no elástico tornando-o uma tira maior.

II) Com uma caneta, marque 10 pontos separados por uma distância de 1cm e os identifique com as letras: A, B, C... , conforme o exemplo da figura abaixo.



IV) Fixe o ponto A do elástico no zero da régua (pressionando com o dedo), com a outra mão, ajuste o elástico até que o último ponto coincida com o número dez da régua sem forçar o elástico, conforme a figura acima.

V) O outro colega prepara o aparelho de celular para iniciar a filmagem, mantendo-o numa posição que dê para visualizar de maneira clara os pontos do elástico e a escala da régua.

VI) Com um dedo fixo no ponto “A” comece puxando lentamente a outra extremidade do elástico procurando manter velocidade constante, nesse instante, diga “já” para o outro colega iniciar a filmagem. Continue esticando o elástico até que o ponto “L” atinja o número 19 da régua e peça para o colega encerrar a filmagem (o esticamento final ficará semelhante à figura abaixo).



2ª Parte: Coleta de dados

I) Ponha o filme para rodar, observe que conforme o filme vai sendo executado, na parte inferior da janela aparece uma escala indicando o tempo. Escolha um instante qualquer, pause o vídeo, anote-o na célula T_1 e as posições de todos os pontos do elástico na segunda linha da tabela abaixo (linha T_1).

II) Continue a rodar o vídeo e escolha outro instante, pause o vídeo, anote esse instante na célula T_2 e as posições dos pontos na linha T_2 da tabela abaixo.

Observação: se preferir transfira o arquivo do vídeo para um computador, para facilitar na tomada dos dados.

Quando o elástico estica os pontos tornam-se mais largos, nesse caso, procure anotar o valor que coincide aproximadamente com o ponto médio de cada ponto.

TEMPO	POSIÇÃO DO PONTO A	POSIÇÃO DO PONTO B	POSIÇÃO DO PONTO C	POSIÇÃO DO PONTO D	POSIÇÃO DO PONTO E	POSIÇÃO DO PONTO F	POSIÇÃO DO PONTO G	POSIÇÃO DO PONTO H	POSIÇÃO DO PONTO I	POSIÇÃO DO PONTO J
$T_1 =$										
$T_2 =$										
VM										

3ª Parte: Cálculo das velocidades médias de afastamento dos pontos.

Faça os cálculos com precisão centesimal, isto é, mantenha duas “casas” após a vírgula, com os devidos arredondamentos.

Para calcular a velocidade de afastamento de um ponto em relação à sua posição anterior, use a fórmula (exemplo para V_A):

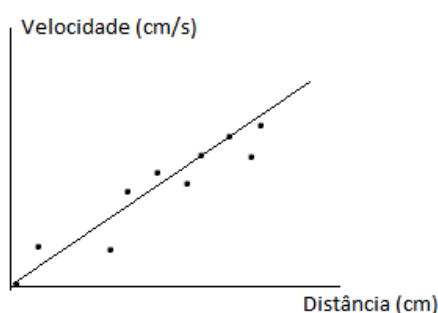
$$v_{(A)} = \frac{\Delta S_A}{\Delta t_A} = \frac{[(\text{posição do ponto A no ins tan te 2}) \text{ menos } (\text{posição do ponto A no ins tan te 1})]}{(\text{ins tan te 2 A}) \text{ menos } (\text{ins tan te 1 A})}$$

Do mesmo modo, para calcular a velocidade V_B deve fazer a diferença entre as posições do ponto B nos instantes T_1 e T_2 e dividir pela diferença dos instantes. Repita o cálculo para todos os pontos e preencha a linha VM da tabela.

4ª PARTE: Construção do gráfico vXd.

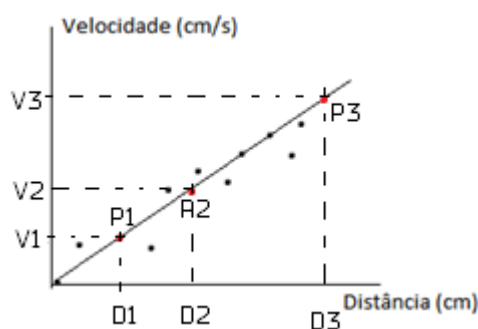
Use papel milimétrico para fazer o gráfico.

I) Anote os valores das velocidades no eixo da ordenada e os das posições no eixo da abscissa. Quando for unir os pontos, pode ser que eles não fiquem todos alinhados, nesse caso, trace uma reta que passe o mais próximo da maioria deles, conforme o exemplo.



Veja que alguns pontos ficaram de um lado da reta e outros do outro lado, mas todos estão próximos da reta, essa é a reta média.

II) Após traçar a reta marque sobre ela três pontos que não coincidam com nenhum dos pontos que já foram marcados, como no exemplo abaixo.



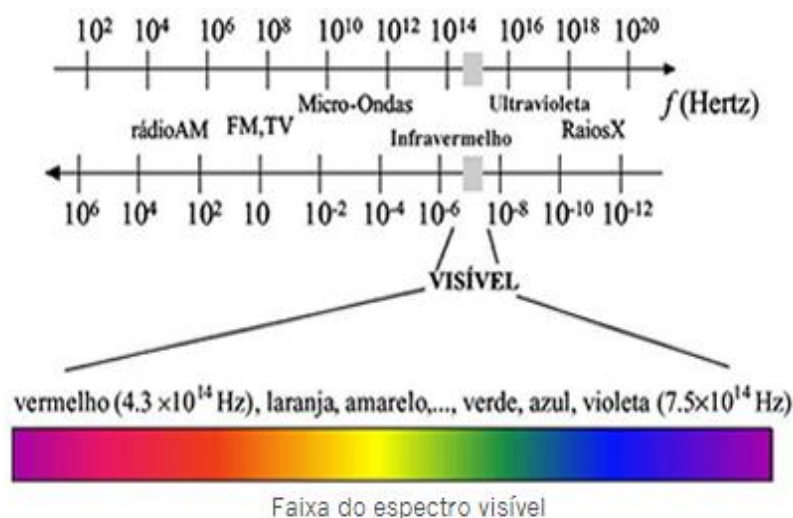
Calcule o coeficiente angular da reta, para tanto, use a relação:

$$m = \frac{V3 - V2}{D3 - D2} \quad e \quad m = \frac{V2 - V1}{D2 - D1}$$

5ª Parte: Questões

- 1) Quando o elástico foi esticado os pontos deslocaram-se em relação à régua ou em relação ao elástico?
- 2) Pontos posteriores tiveram um deslocamento maior ou menor do que os pontos anteriores, para um mesmo intervalo de tempo?
- 3) A velocidade de deslocamento de um ponto posterior foi maior, menor ou igual ao de um ponto anterior?
- 4) Qual é a unidade da relação entre a velocidade e a distância (coeficiente angular da reta)? Descreva o significado dessa relação.
- 5) Escreva a relação matemática entre a velocidade de afastamento dos pontos (v) e a distância entre eles (d).
- 6) Compare seus resultados com os de outros colegas e procure observar semelhanças e diferenças.
- 7) Se o experimento do elástico fosse comparado com o Universo e os pontos com as Galáxias:
 - a) O que se poderia concluir sobre as velocidades das galáxias em relação às distâncias entre elas?
 - b) Quem faria o papel do elástico?
 - c) Quem faria o papel da mão que puxa o elástico?
- 8) Esquematize esse experimento em três dimensões: considere três réguas com uma das extremidades encostadas, sobre cada régua um elástico sendo puxado de modo que as direções entre os três sejam perpendiculares.
- 9) Comparando o esquema proposto na questão 8 com o Universo em três dimensões e considerando que cada ponto é uma galáxia. O que acontece com a velocidade de afastamento das galáxias quando a distância entre as elas aumenta?
- 10) Nesse exemplo, a largura dos pontos marcados no elástico aumenta quando ele é esticado. Se esses pontos forem substituídos por objetos fixos como pequenos botões, que influência eles sofrerão quando o elástico for esticado? Comparando com o Universo, as galáxias e as estrelas e planetas sofrem alguma influência devido à expansão do Universo? Discutam suas opiniões.

Atividades: espectroscopia e desvio espectral



1) Ao analisar o espectro de três corpos celestes A, B e C, um astrofísico observou que o corpo A tinha espectro com características tendendo à faixa de cor vermelha e os outros dois, para o azul. Fazendo analogia com o efeito Doppler ele decidiu que esses corpos estavam aproximando-se ou afastando-se da Terra (considerada em repouso em relação aos citados corpos). A partir da análise do espectro luminoso abaixo. Explique a que conclusão chegou o Astrofísico, isto é, qual estava se afastando e qual estava se aproximando da Terra.

2) Explique o significado do termo em inglês redshift.

3) Cite a importância do estudo do espectro luminoso na determinação da idade do universo.

4) Explique o efeito Doppler.

5) Uma fonte sonora se propaga com velocidade igual a 100m/s, sabe-se que a frequência do emitida é de 500Hz e que a velocidade do som é 340m/s. Calcule a frequência percebida por uma pessoa em repouso, considerando:

a) A fonte se aproxima.

b) A fonte se afasta.

6) Certa noite um objeto foi observado por um espectroscópio com deslocamento para a faixa azul. Sobre esse objeto, pode-se afirmar que ele está se afastando da Terra? Justifique.

7) Um corpo celeste é observado com comprimento de onda igual a 6800 Angstroms a uma distância de 40Mpc. Sendo o comprimento de onda de referencia igual a 6562 Angstroms. Determine:

- a) O redshift, z .
- b) A velocidade de recessão desse corpo
- c) A constante de Hubble.
- d) O tempo transcorrido desde o instante que esse corpo estava em repouso.

8) Explique a diferença entre espectro o luminoso de absorção e de emissão.

9) Sobre a dúvida comum às pessoas em como saber a distância dos corpos celestes, que argumento pode ser usado como convencimento?

10) O mais preciso valor da idade do universo foi obtido em 2003, como 13,7 bilhões de anos. Como se explica a diferença entre esse valor e o que você obteve durante as aulas.

Resultados do pré-teste aplicado em 2014

Os alunos expressaram suas concepções de Universo a partir de desenhos ou textos.

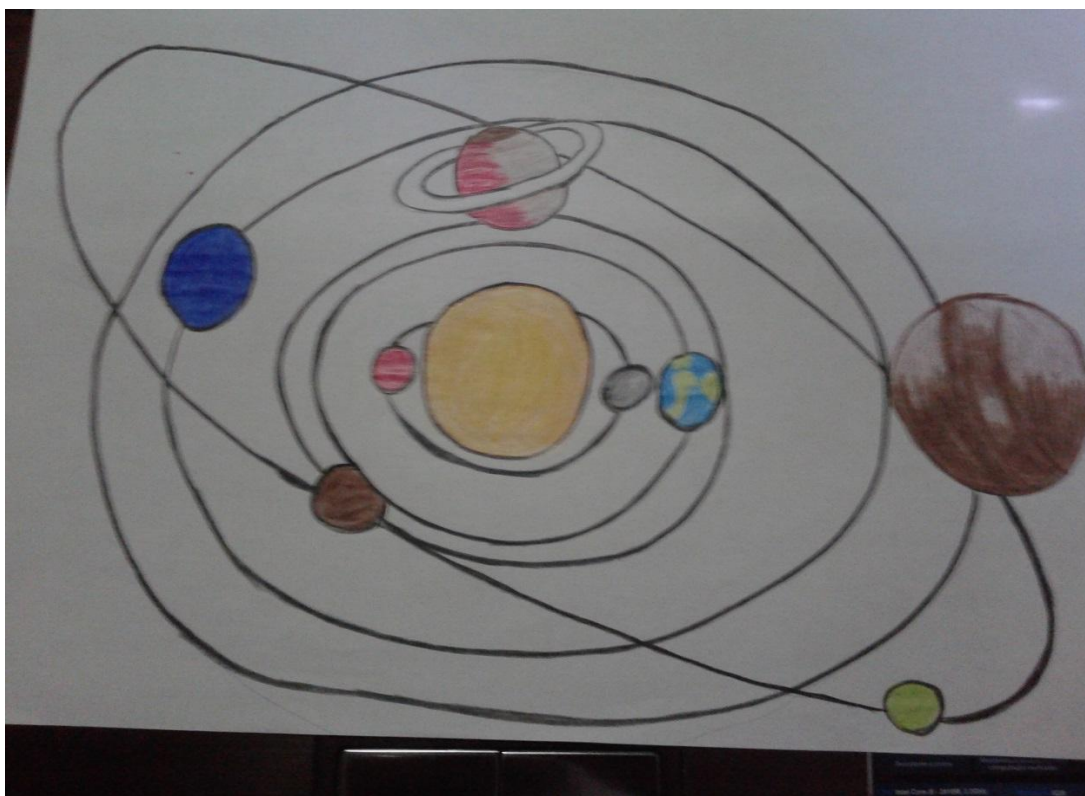
Atividade 1: Explicita sua concepção de Universo (aquilo que você realmente acredita)

Os dados a seguir são de 33 alunos da turma do 3ºD do período da manhã. Dos quais, apenas quatro deles explicitaram suas ideias por meio de texto, os demais, fizeram por desenhos.

Análise das respostas nos permitiu classificar em três grupos, enumerados abaixo.

1) A imagem do um sistema solar presente na maioria dos livros do Ensino fundamental: 17 alunos.

O Universo representado por eles limita-se ao sistema solar, mas, sem nenhuma preocupação com a ordem, com as distâncias em relação ao sol, nem com os tamanhos dos objetos, como se pode ver na num exemplo de um desenho (figura 1) abaixo. No qual fizeram uma representação com os planetas no mesmo plano, em geral, como aparecem nos livros didáticos.



(Fig.01) Desenho da percepção de Universo, realizado por um grupo de quatro alunos do terceiro ano D. Nota-se Mercúrio e Vênus do mesmo tamanho e ocupando a mesma órbita.

2) Representação ingênua/cultural: 12 alunos.

Nesse caso, eles elaboraram suas percepções como se estivessem criando teorias novas de como é o Universo, deixando de lado as pesquisas e observações realizadas ao longo dos séculos. Aliás, esse tipo de representação na qual o senso comum se sobressai ao conhecimento científico, não é peculiar aos nossos estudantes, como mostraram algumas pesquisas. No Brasil (NEVES, 2005 e BISCH, 1998); e no exterior: nos EUA (NUSSBAUM e NOVAK, 1976); na Inglaterra (BAXTER, 1989) e na Espanha (BARRABÍAN, 1995).

Na figura 02 a seguir, temos um exemplo de uma concepção que parece inventada pelos alunos, de última hora para corroborar suas ideias.



(Figura – 02) Durante as apresentações aos demais grupos, os alunos explicaram que a galáxia vista na “janela” é a nossa Via-láctea, questionados sobre a galáxia em que situa o sistema solar, assumiram estarem equivocados, mas que o Universo “*poderia ser desse jeito*”.

3) Representação religiosa/científica: 4 alunos.

Nesse caso, os alunos fazem uma representação de mundo que, ora considerando o que assimilaram na Escola ou na cultura geral, ora, fazendo menção

direta ao ponto de vista religioso. Como no exemplo da figura 03. Ao ser questionada sobre a mão que foi posta sob o planeta a aluna explicou que sua ideia era apenas de mostrar a proteção divina, uma vez que outros colegas lembraram de que o contato com a mão causaria algum distúrbio (atrito).

Outra situação digna de atenção foi outra aluna que fez um desenho como os dos livros e numa extremidade oposta da página, fez o desenho do Deus tradicional do cristianismo.



(Fig. 03) A representação de Universo, aqui está limitada apenas ao planeta Terra, com a mão de Deus, conforme a própria aluna escreveu.

Questionário “A Cosmologia e a Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”.³⁶ – pré-teste aplicado em 2015.

Responda em folha avulsa. Para tanto, use as folhas de papel almaço disponíveis. Numere as respostas com o mesmo número das perguntas. Use quantas folhas precisar.

1. Sexo: () Masculino () Feminino
2. Idade: () anos
3. Para você, o que é Cosmologia?
4. Qual sua principal fonte de informações sobre Cosmologia?
5. Quais as imagens que você faz sobre:
 - a. Teoria da relatividade:
 - b. Big Bang:
 - c. Buracos negros:
 - d. Galáxias:
 - e. Quasares:
 - f. Pulsares:
 - g. Fauna interestelar:
 - h. Nebulosas:
6. Os dias da semana estão relacionados com que fenômeno celeste?
 - a) a rotação da Terra
 - b) a translação da Terra
 - c) a rotação do Sol
 - d) as fases da Lua
 - e) o posicionamento das estrelas
7. As estações do ano ocorrem em função:
 - a. De a Terra estar mais próxima ou afastada do Sol
 - b. Da inclinação do eixo de rotação da Terra
 - c. Da maior ou menor emissão de luz pelo Sol
 - d. Do afastamento da Lua de acordo com as estações
 - e. Da Translação da Terra

³⁶ Adaptado da dissertação de mestrado de Jorge Henrique Lopes de Oliveira 2006.

8. O que pode ser dito a respeito da localização do centro do Universo:
- a. A Terra é o centro
 - b. O Sol está no centro
 - c. A Via Láctea está no Centro
 - d. Uma Galáxia distante e desconhecida está no Centro
 - e. Não existe centro do universo
9. Qual das seguintes sequências está corretamente agrupada em ordem de maior proximidade da Terra.
- a. Estrelas, Lua, Sol, Plutão
 - b. Sol, Lua, Plutão, Estrelas
 - c. Lua, Sol, Plutão, Estrelas
 - d. Lua, Sol, Estrelas, Plutão
 - e. Lua, Plutão, Sol, Estrelas
10. Das seguintes alternativas, qual melhor representa o Sol:
- a. Asteróide
 - b. Planetóide
 - c. Planeta
 - d. Galáxia
 - e. Estrela
11. Das alternativas abaixo, qual melhor expressa o Big Bang:
- a. A origem do sistema solar
 - b. A criação da Terra
 - c. A origem do Universo
 - d. Criação da Galáxia
 - e. Criação do Sol
12. Das alternativas abaixo, qual melhor expressa Anos-luz:
- a. Uma medida de distância
 - b. Uma medida de tempo
 - c. Uma medida de velocidade
 - d. Uma medida de intensidade luminosa
 - e. Uma medida de Idade

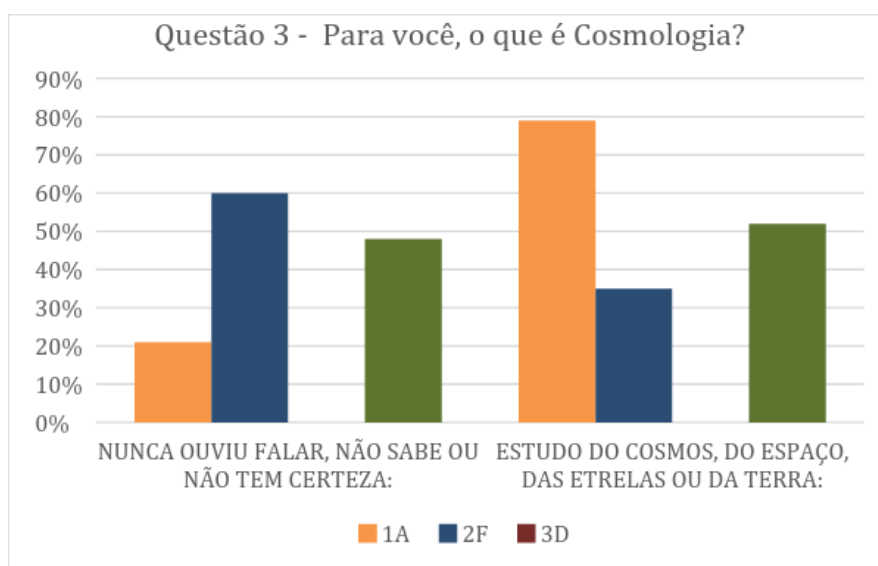
Resultados do pré-teste: (Questionário aplicado em 2015).

São apresentados em seguida, os resultados do questionário respondido pelos alunos no ano de 2015. Como são resultados estatísticos, não revelam os porquês dos estudantes. Mesmo assim, nos permite vislumbrar o conhecimento dos alunos em relação à Cosmologia/Astronomia.

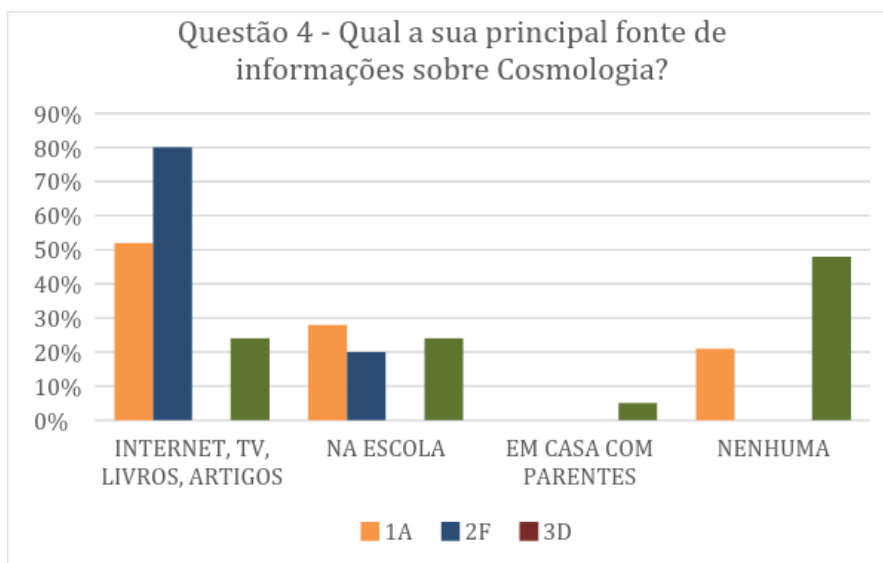
Como a primeira e a segunda questão são dados relativos a idade e a gênero, começamos pela terceira questão.

Para a análise das respostas selecionamos uma turma de cada série para assim observar se há discrepâncias entre elas.

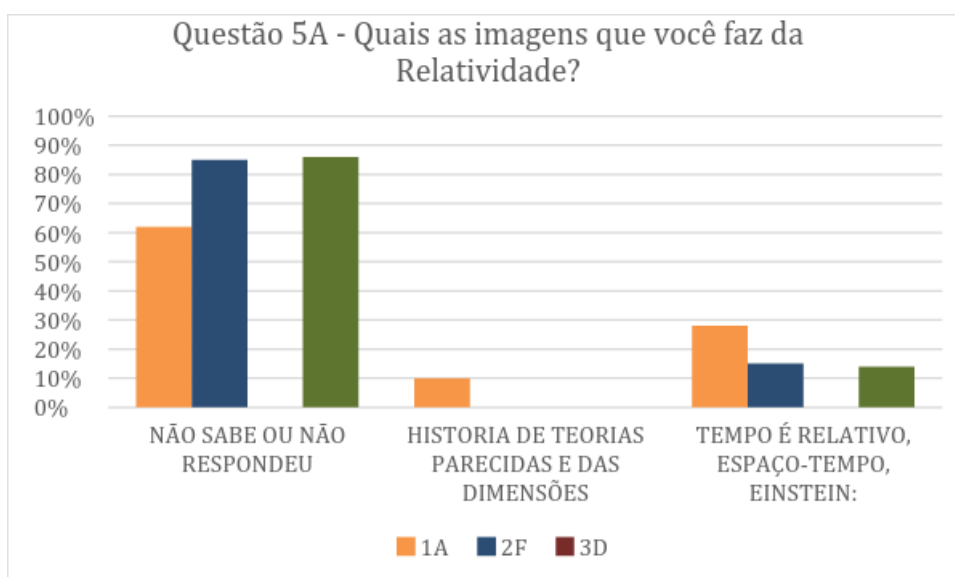
Nas questões cujas respostas são redigidas livremente pelos alunos e consequentemente o número de termos diferentes é grande, agrupamos os termos que apresentam alguma semelhança, como no exemplo da terceira questão: “estudo do Cosmos, do espaço, da Terra,...”.



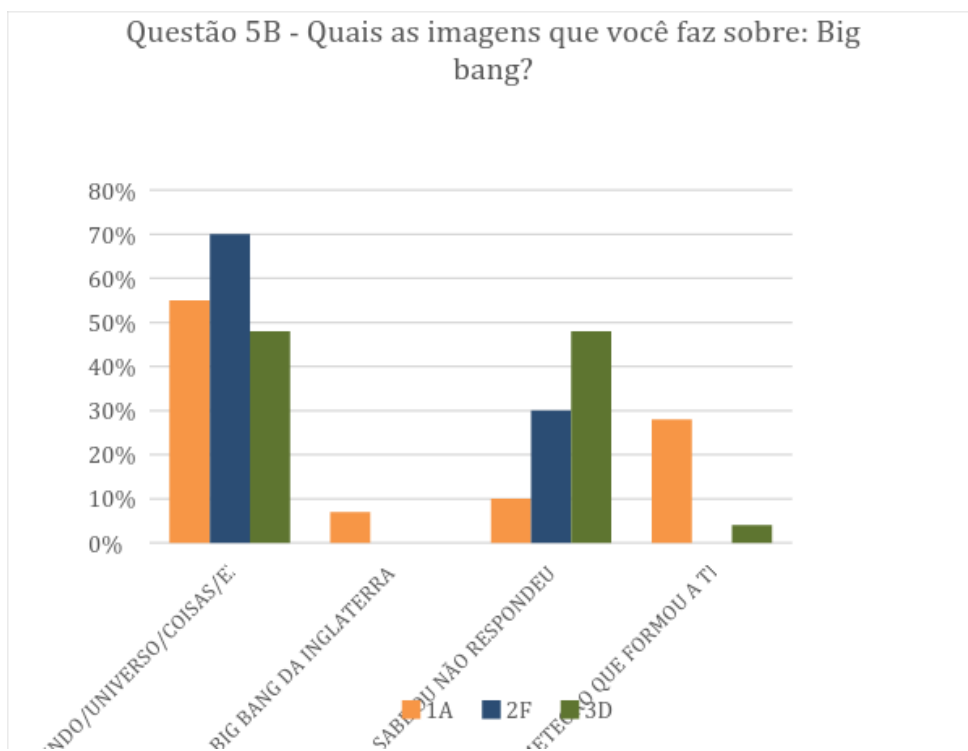
É importante observar que nesta questão, onde os alunos apresentam algum conhecimento sobre Cosmologia, os do primeiro ano se sobressaem até mesmo sobre os alunos do terceiro ano.



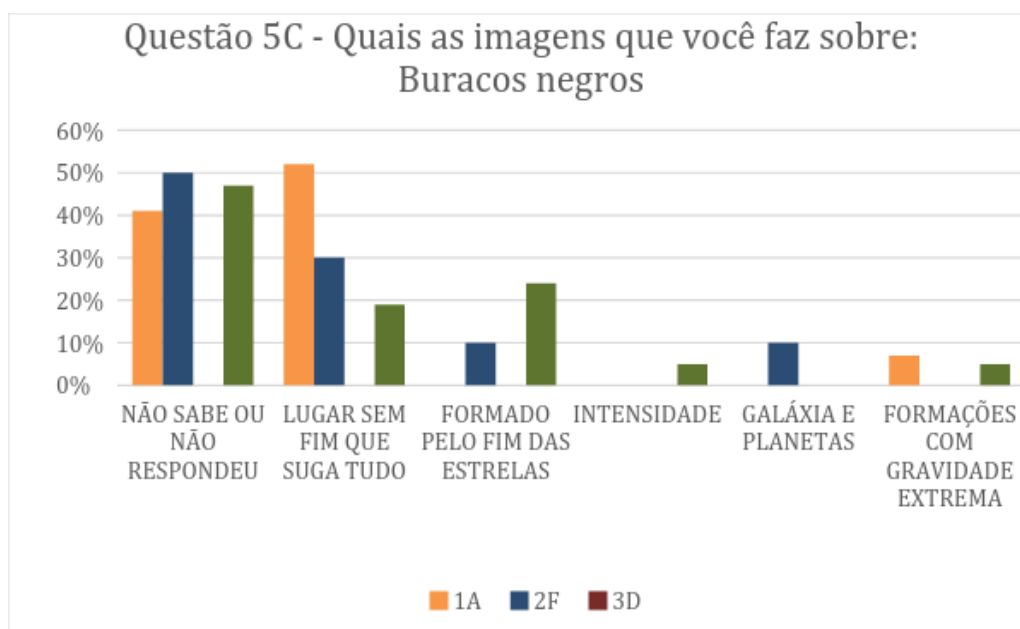
As respostas a esta questão evidenciam a Escola como lugar pouco relevante para a aquisição de informações.



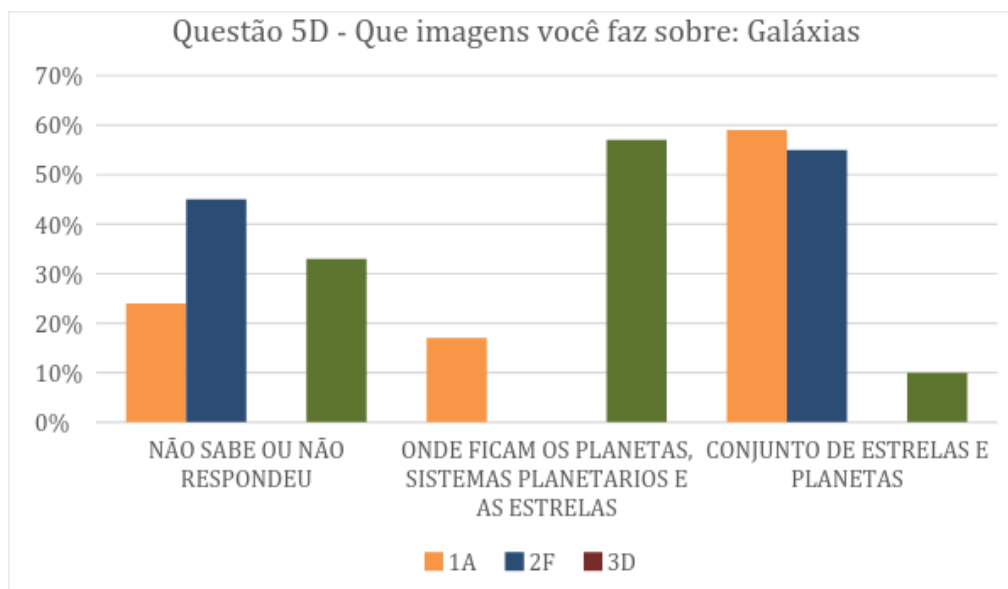
Como se pode observar, o assunto “relatividade” é de pouco conhecimento dos alunos. Mas, os do primeiro ano apresentam maior curiosidade do que os do terceiro e do segundo ano.



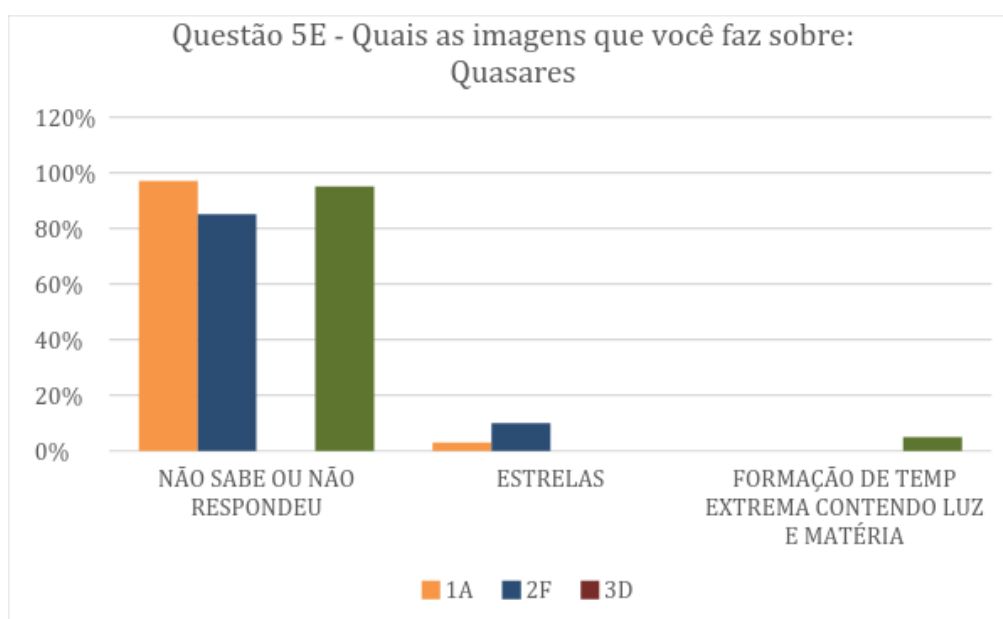
Os alunos dessa turma de segundo ano demonstram ter alguma informação sobre o termo “Big Bang”, já os do terceiro são mais cautelosos em darem repostas.



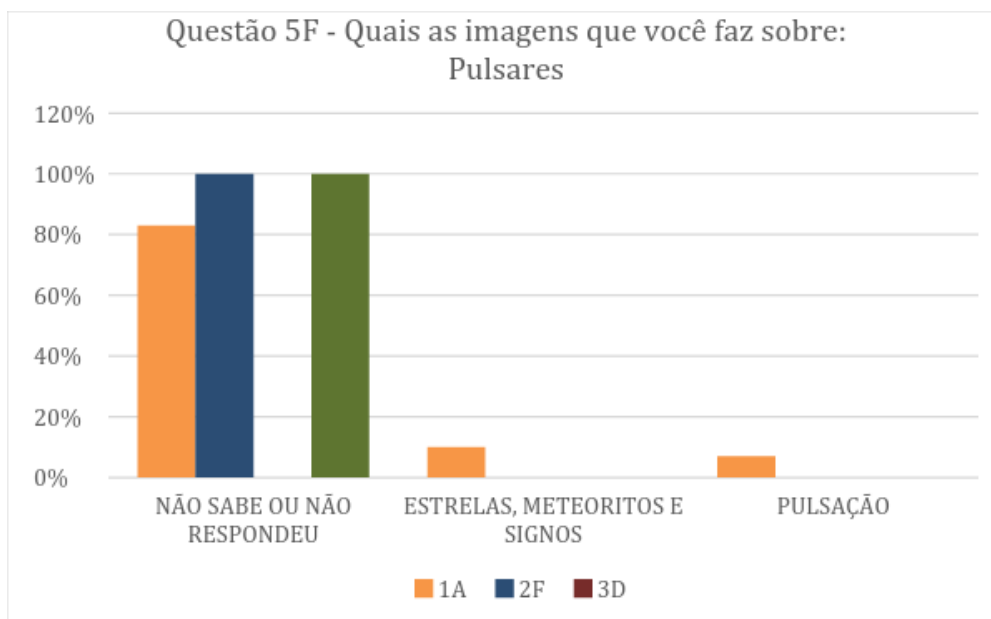
A relação entre termos “buracos negros” e “buraco sem fim” aparece de modo consistente nas três turmas analisadas. Poucos alunos do terceiro ano fazem menção a um corpo que surge em consequência do estágio final das estrelas.



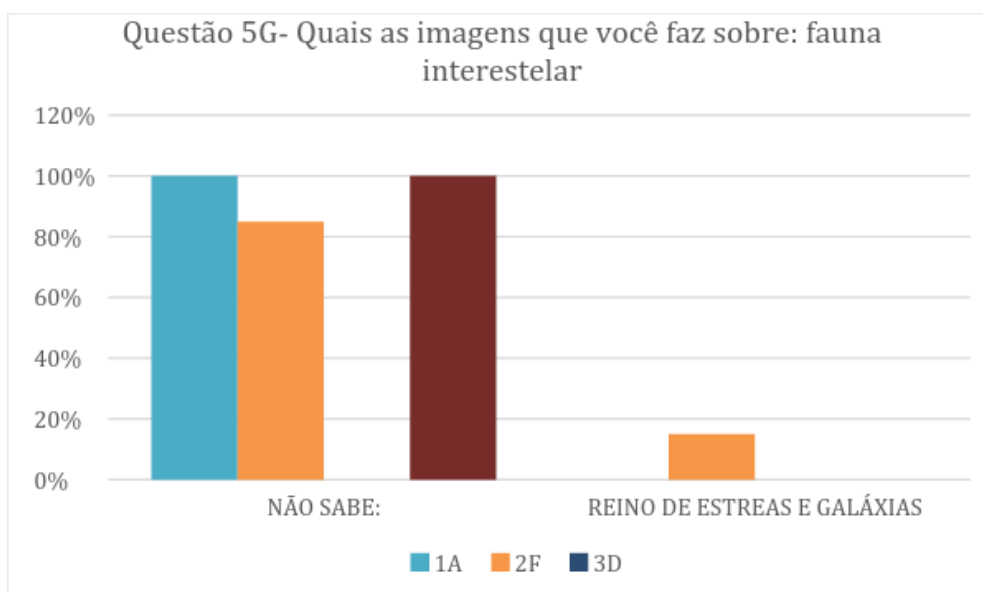
Chama-nos a atenção ao baixo número de alunos do terceiro ano que mencionam a Galáxias como um conjunto de estrelas.



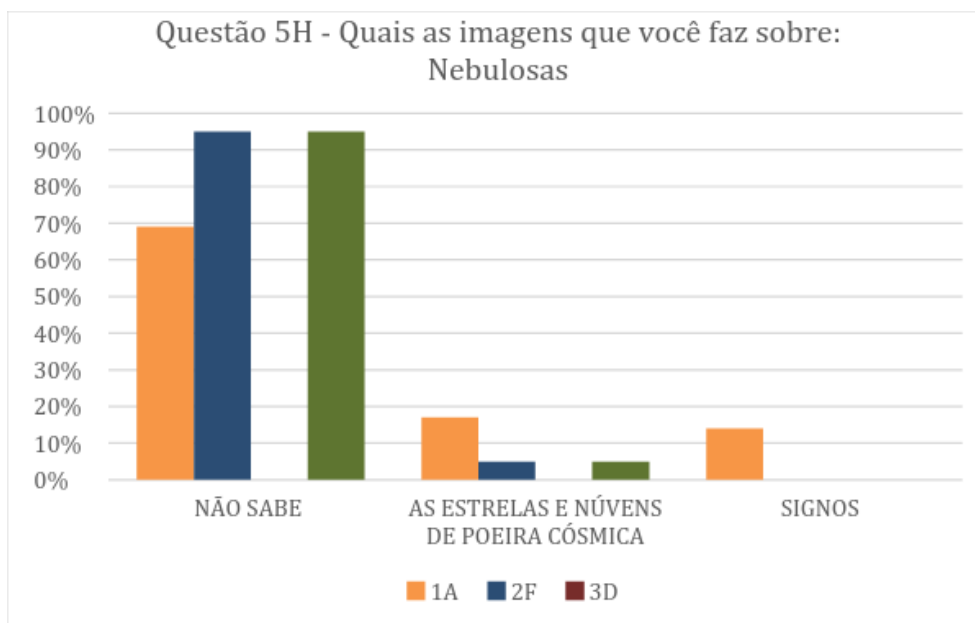
As respostas a essa questão mostram claramente o desconhecimento dos alunos sobre esses objetos de grande massa localizados nos limites do Universo.



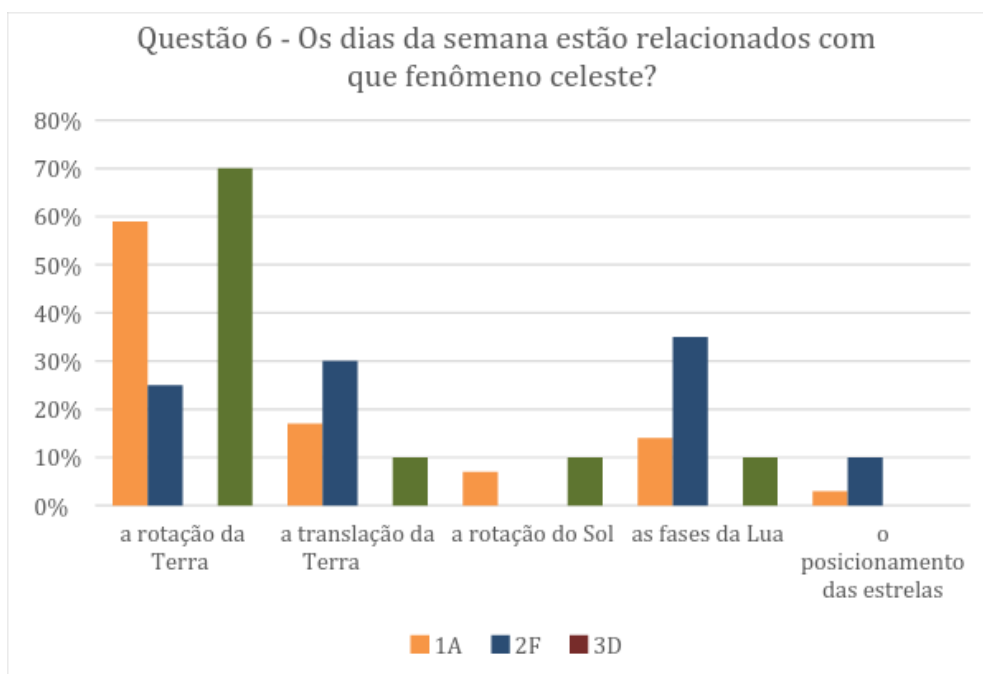
Aqui se repete a situação da questão anterior.



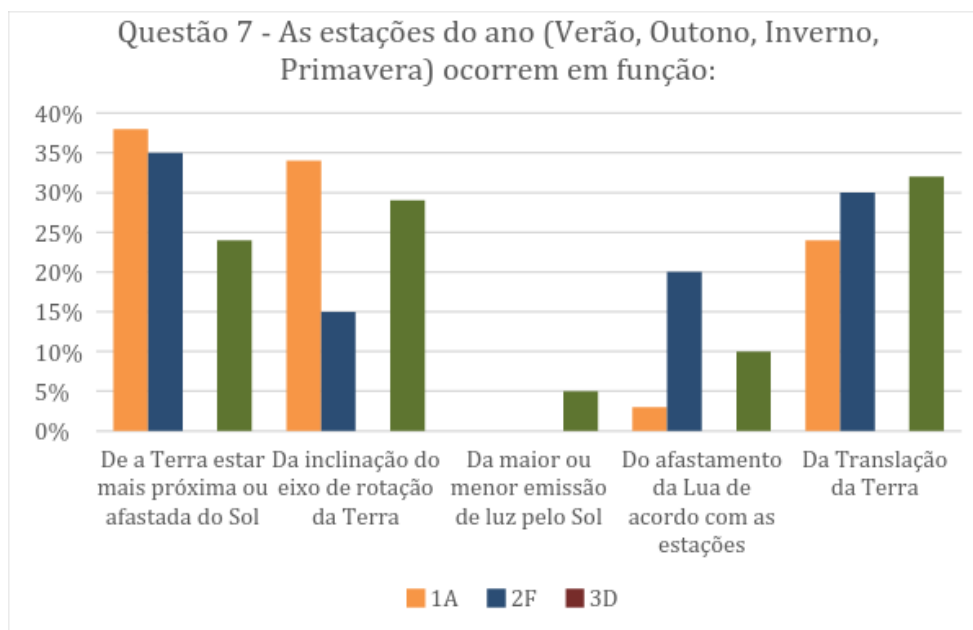
Outros termos que os alunos assumem o desconhecimento.



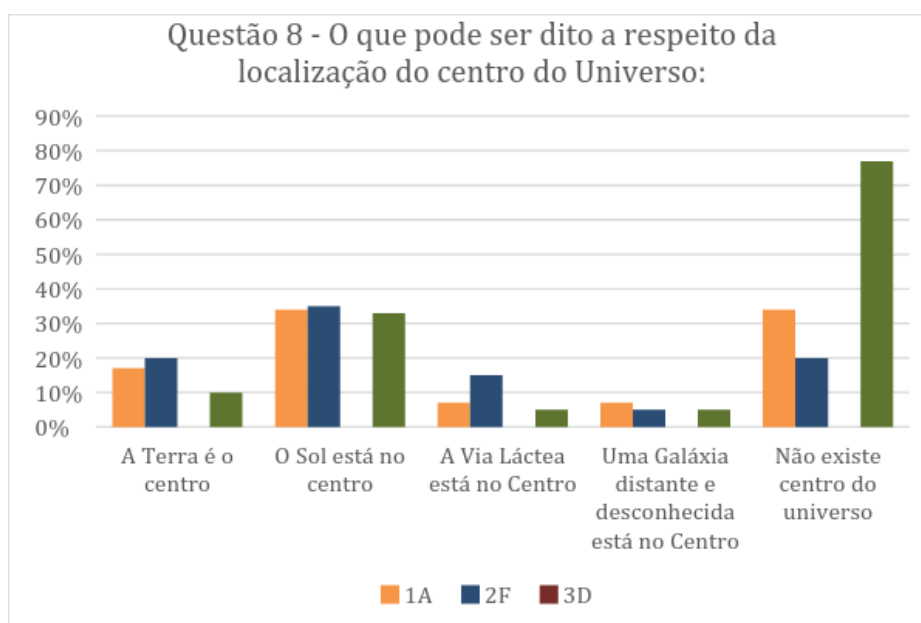
Mais um termo que a maioria dos alunos desconhece. Mas, os alunos do primeiro ano mostram alguma curiosidade e conhecimento ao relacionar nebulosas com nuvens de poeira.



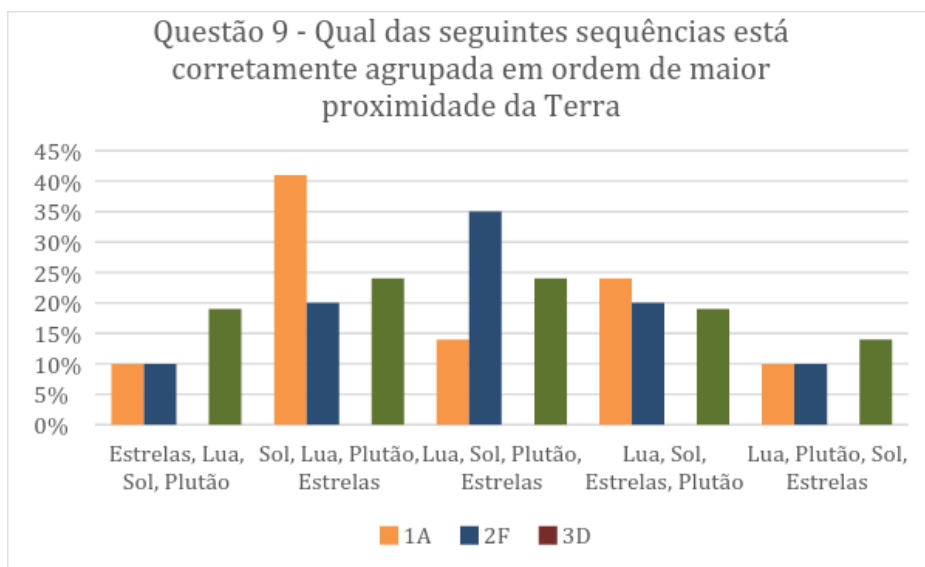
As respostas a essa questão mostram a total falta de conhecimento dos alunos das três turmas e evidencia a preocupação com o ensino dos tópicos básicos de Astronomia.



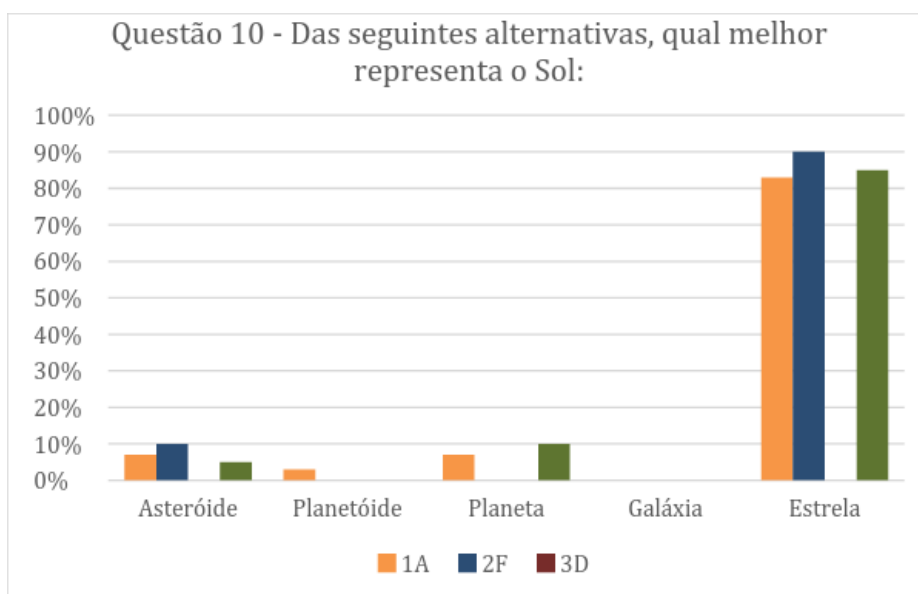
Apesar de uma boa quantidade de alunos responderem assertivamente, a maioria atribui ao movimento da Terra ao redor do Sol como fenômeno responsável pelo aquecimento do nosso planeta.



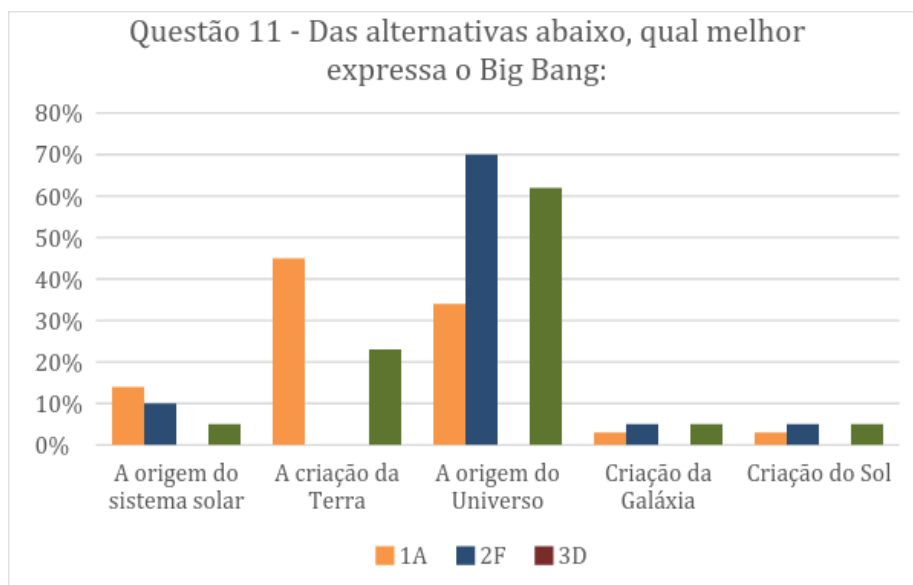
Aqui se pode ver ainda a presença, embora tênue do geocentrismo. O heliocentrismo bem distribuído e um Universo sem centro. Indagações sobre as respostas de um Universo acêntrico não permitiram concluir as razões de tais respostas.



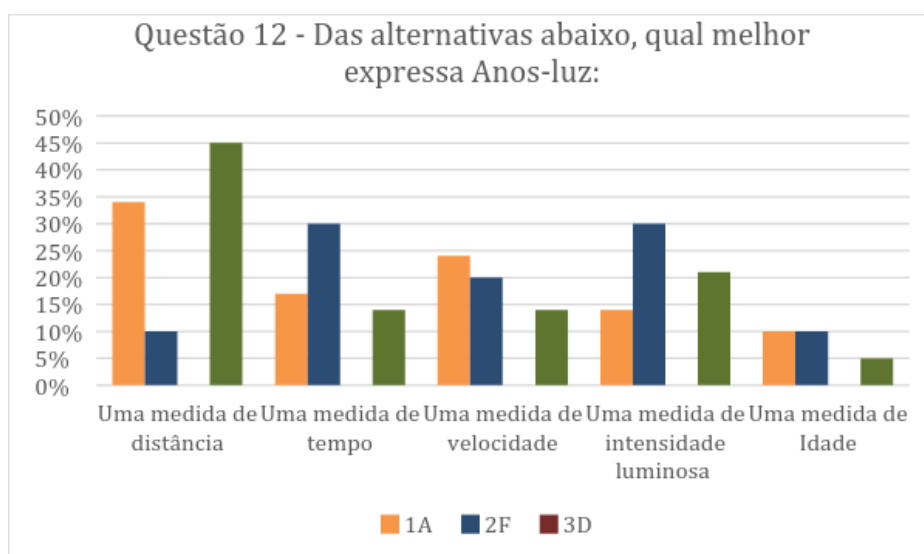
Apesar da turma do segundo ano ter tido considerável acerto, mesmo assim as respostas indicam a dificuldade com que os alunos percebem sua localização no espaço.



As respostas a essa questão não deixam dúvidas de que a questão de o Sol ser uma estrela está superada.



Outra questão resolvida, embora saibamos que a teoria do Big Bang ainda necessita de comprovações, caiu nas “graças do povo”, parece uma questão resolvida.



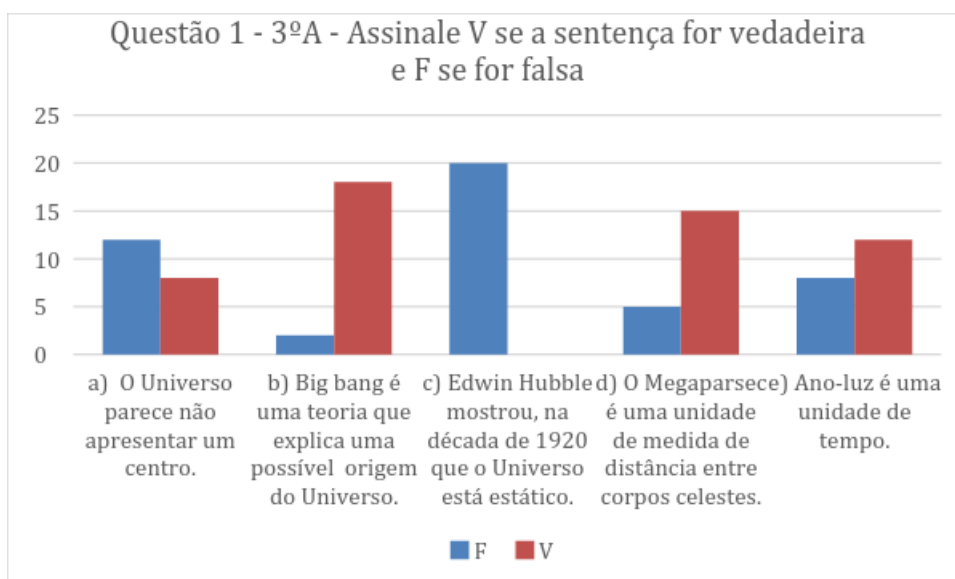
Embora dois terços considerasse o ano-luz uma medida de distância, ainda é uma definição que carece de ser mais trabalhada, em vista dos resultados discrepantes.

Avaliação aplicada em dezembro de 2015

E.E. JOSE LINS DO REGO – AVALIAÇÃO DE FÍSICA – PROF. ISMERINDO LAUBE DE OLIVEIRA	
NOME: _____ Nº: _____ TURMA: _____ DATA: ____/11/2015	
<p>1) Assinale V se a sentença for verdadeira e F se ela for falsa.</p> <p>a) <input type="checkbox"/> O Universo parece não apresentar um centro.</p> <p>b) <input type="checkbox"/> Big bang é uma teoria que explica uma possível origem do Universo.</p> <p>c) <input type="checkbox"/> Edwin Hubble mostrou, na década de 1920 que o Universo está estático.</p> <p>d) <input type="checkbox"/> O Megaparsec é uma unidade de medida de distância entre corpos celestes.</p> <p>e) <input type="checkbox"/> Ano-luz é uma unidade de tempo.</p> <p>2) Quando uma galáxia (A) apresenta Redshift e outra galáxia (B) apresenta blueshift. Pode-se afirmar que:</p> <p>a) <input type="checkbox"/> Ambas aproximam-se da Terra.</p> <p>b) <input type="checkbox"/> Ambas afastam-se da Terra.</p> <p>c) <input type="checkbox"/> A aproxima e B afasta.</p> <p>d) <input type="checkbox"/> A afasta-se e B aproxima-se da Terra.</p> <p>3) Assinale as alternativas corretas a respeito do Espectro luminoso.</p> <p>a) <input type="checkbox"/> Cada elemento químico emite ou absorve luz com determinada frequência o que torna o espectro a identidade desse elemento.</p> <p>b) <input type="checkbox"/> As linhas espectrais permanecem na mesma posição para todos os corpos luminosos distantes estejam eles em movimento ou não em relação à Terra.</p> <p>c) <input type="checkbox"/> Quando as linhas espectrais da luz de um corpo distante deslocam-se para a região vermelha, significa que o corpo está afastando-se da Terra.</p> <p>d) <input type="checkbox"/> Cada faixa colorida do espectro representa uma frequência e um comprimento de onda distintos.</p> <p>4) A expansão do Universo causa esticamento nos corpos aqui na Terra? Discuta sua resposta.</p>	<p>5) Enumere o maior número de conceitos que você lembrar sobre o que foi discutido nas aulas sobre Cosmologia.</p> <p>6) O que você achou difícil em Cosmologia e o que achou fácil?</p> <p>7) Como você avalia as aulas sobre Cosmologia que foram trabalhadas no segundo bimestre? Avalie pontos favoráveis e os pontos que considerar desfavoráveis.</p>

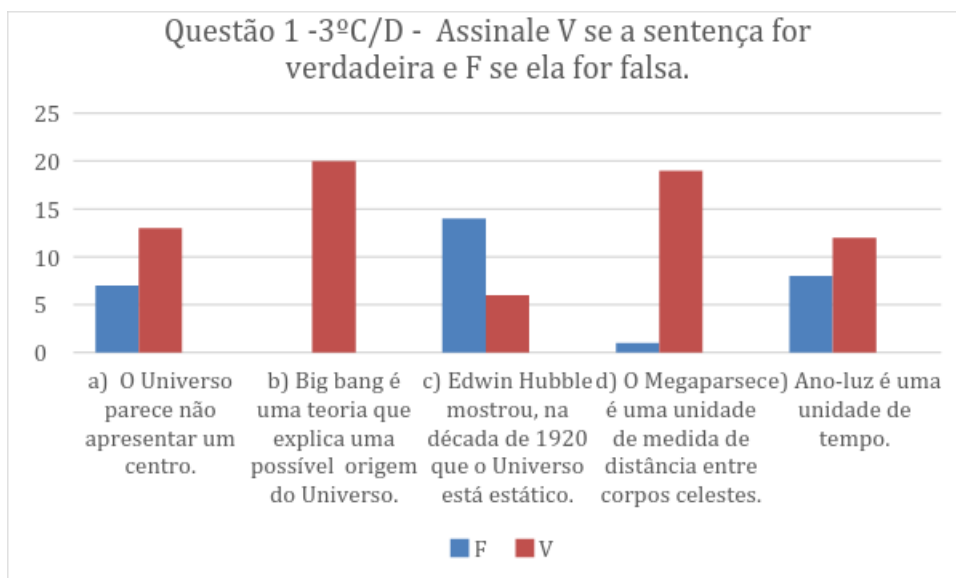
Resultados da avaliação final (item XI)

O objetivo dessa análise é de obter a validação dos métodos aplicados durante as aulas sobre Cosmologia. Essa avaliação foi aplicada, propositalmente, no final do quarto bimestre, quase três meses depois de ser trabalhado o assunto. Os resultados se podem ver nos gráficos adiante. Essa avaliação foi realizada por 20 alunos do 3ºA, essa turma foi escolhida porque os tópicos de Cosmologia foram trabalhados apenas teoricamente, isto é, os alunos não realizaram os experimentos que foram propostos para as demais turmas. Os resultados foram comparados com os de um grupo de 20 alunos das turmas dos terceiros C e D (10 alunos de cada uma).

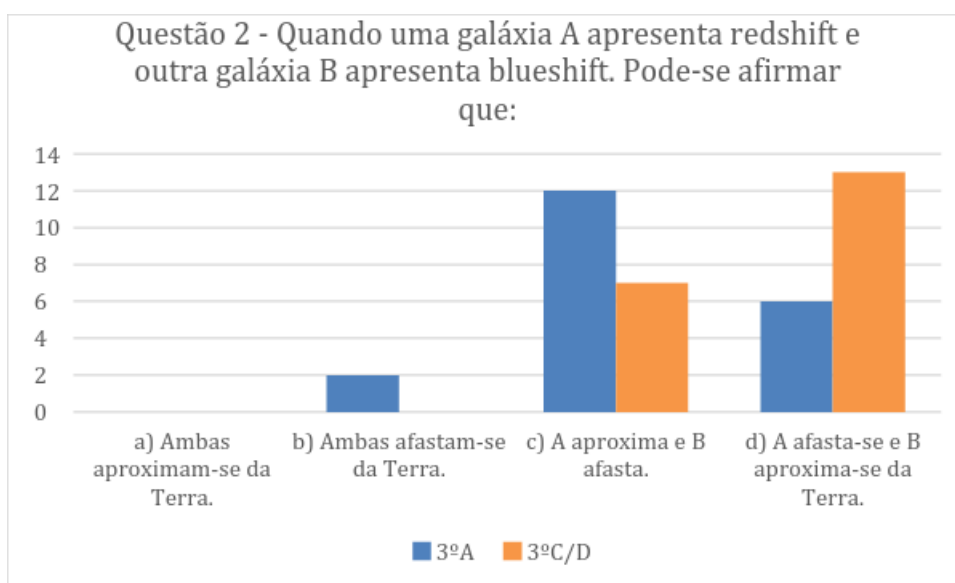


Em relação ao item (a) observamos certa contradição, uma vez que a mais de 70% dos alunos tenham indicado um universo acêntrico na questão 8 da pré-teste (questionário), nessa questão a maioria indicou como falsa a afirmação de que o Universo parece não ter um centro. De modo semelhante o item (e) que fora respondido acertadamente no pré-teste, agora foi negado, onde a maioria.

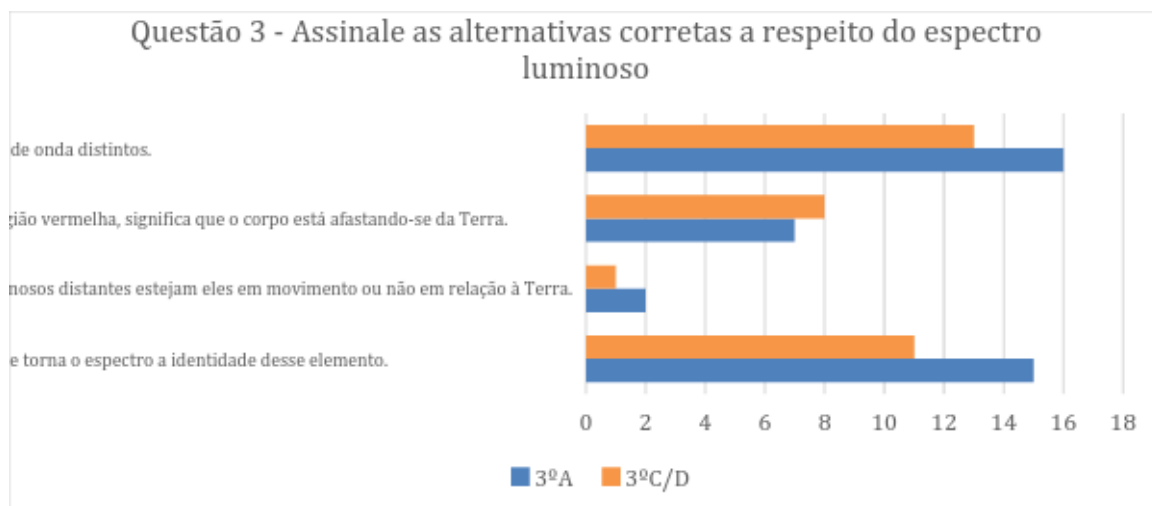
No item (b) não houve novidade em relação ao pré-teste. Os itens (c) e (d) foram sobre assuntos discutidos durante as aulas, razão pela qual o resultado era esperado e se concretizou.



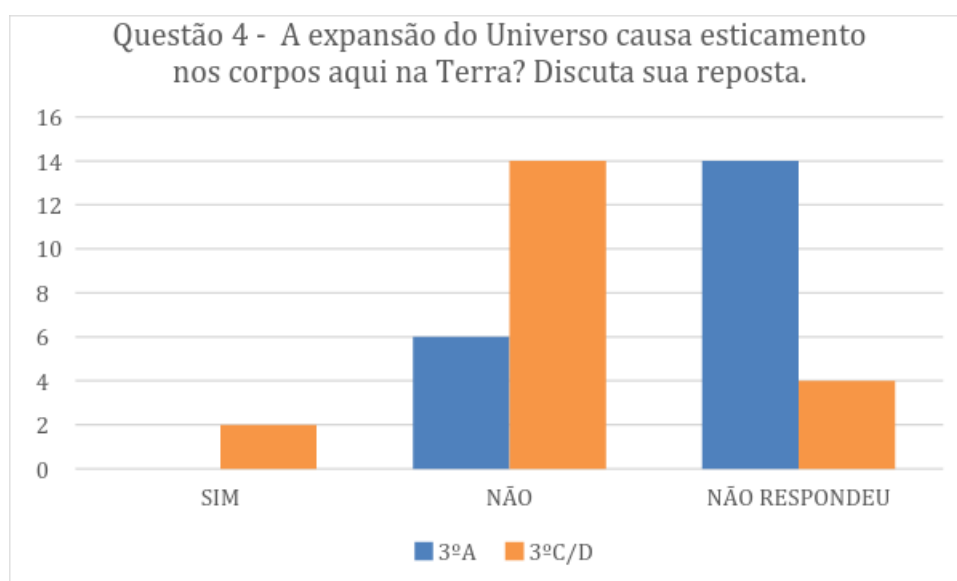
Exceção do item (e), as respostas apresentadas pelos alunos dos 3ºC e D não divergiram muito das dadas no pré-teste.



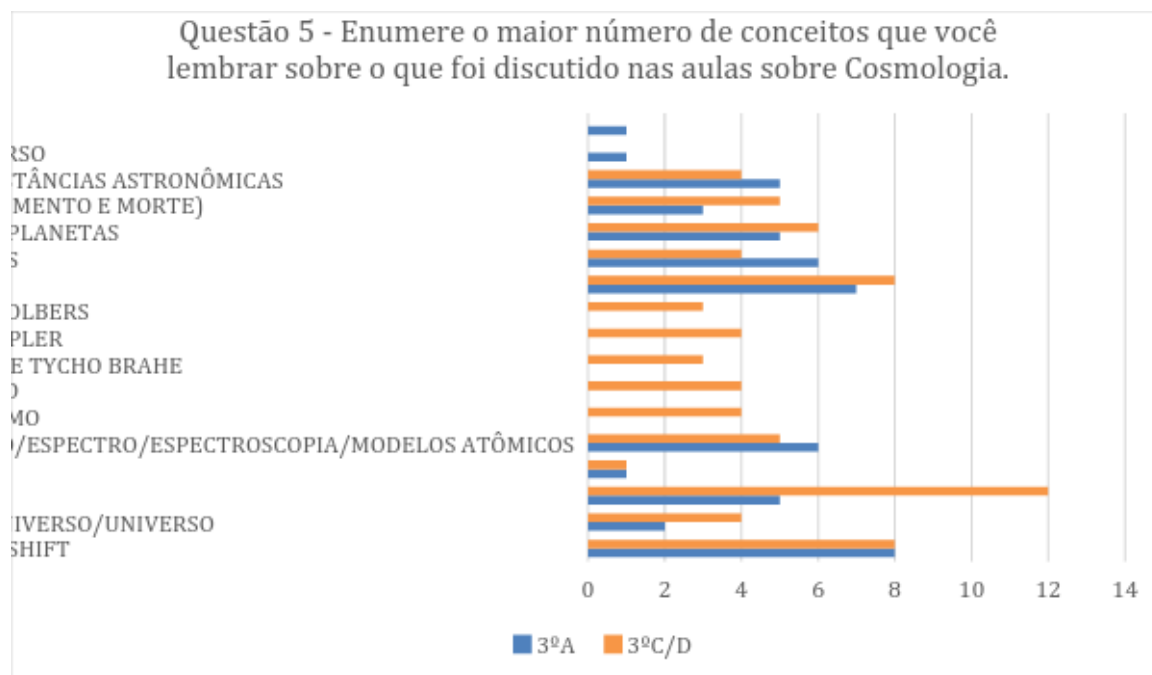
O grande índice de acerto obtido pelos alunos das turmas C e D, comparados com os da turma A, pode ser justificado pelo fato de que eles realizaram os experimentos do espectroscópio e do efeito Doppler, e em seguida discutiu-se o uso desses fenômeno no cálculo da velocidade de recessão das Galáxias por meio da relação $v = c \cdot z$.



Apesar dos alunos do terceiro A terem alcançado maior acerto nos itens (a) e (d), tiveram maior dificuldade no item (c), esse exigia que se fizesse a relação entre o espectro e o redshift, o que foi feito em maior número pelos alunos dos demais terceiros.



A exemplo das questões 2 e 3, as respostas apresentadas a essa questão indica mais uma vez a importância da experimentação, uma vez que os alunos da turma A não realizaram o experimento do elástico. Dos 14 alunos que responderam corretamente, 3 deles relacionaram com uma das questões daquele experimento, realizado quase três meses antes.



O objetivo dessa questão foi de verificar a quantidade de informações sobre a temática das aulas que foi retida pelos alunos após determinado tempo. Chama-nos a atenção o fato de que poucos alunos terem mencionado Hubble e nenhum ter se lembrado do termo “expansão do Universo”, que foi o principal objetivo da UEPS.