

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

RAMISSÉS FELD SANTOS

**NOÇÕES DE ASTROFÍSICA E DE COSMOLOGIA MODERNA NAS
AULAS DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
A PARTIR DO PARADOXO DE OLBERS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2014

RAMISSÉS FELD SANTOS

**NOÇÕES DE ASTROFÍSICA E DE COSMOLOGIA MODERNA NAS
AULAS DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
A PARTIR DO PARADOXO DE OLBERS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Licenciatura em Física do Departamento Acadêmico de Física – DAFIS – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial a obtenção do título de Licenciado.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antonio Florczak

CURITIBA

2014

Para minha mãe, que espere de mim todo amor e carinho possíveis nesse mundo.

Para minha irmã, que seu caminho leve à sua felicidade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Marcos Antonio Florczak pela disposição em me orientar nos momentos bons e nos momentos onde eram necessárias as devidas correções. Também por sua visão dentro da educação em Astronomia, Astrofísica e Cosmologia Moderna, sem o qual esse trabalho não poderia ter sido realizado.

À equipe pedagógica do Colégio Estadual Campos Sales, que me deu sinal verde para a realização da Sequência Didática nas turmas de 3º ano do período matutino.

Aos meus queridos alunos e alunas, que maravilhosamente forneceram boa parte do material que viria a servir como material a ser analisado.

À minha mãe, Ivone Feld Santos, por nunca desistir de mim mesmo nos períodos mais tenebrosos, e à minha irmã Laryssa Feld Santos, ao me lembrar da existência da realidade em diversas ocasiões.

À minha amiga e orientadora emocional Carolina Miranda do Amaral e Silva, que mesmo sem saber, foi uma das responsáveis para a realização deste trabalho ao me fornecer todo o suporte emocional que necessitava.

À minha amiga Thalita Rodrigues Ribeiro, por sempre estar ao meu lado quando mais necessitava.

Aos meus amigos Angel Honorato e Monikeli Wippel da Silva, por estarem ao meu lado estudando e pesquisando temas relacionados a este trabalho por mais de dois anos.

Aos professores Dr. Awdry Feisser Miquelin e Dra. Angela Emília de Almeida Pinto, por me darem a primeira oportunidade de estar em contato com a sala de aula através do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID).

Aos professores Dr. Arandi Ginane Bezerra Junior e Dr. Marlos de Oliveira Ribas por se disponibilizarem em avaliar o meu trabalho.

RESUMO

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

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de uma sequência didática desenvolvida em um Colégio da Rede Pública de Campina Grande do Sul, Paraná. A sequência abordou tópicos de Astrofísica e Cosmologia Moderna dentro do contexto da Física Moderna e Contemporânea para alunos de duas turmas de 3º ano do Ensino Médio. Também buscou conhecer o Estado da Arte sobre o Ensino de Cosmologia Moderna no Brasil. Foram ao todo cinco intervenções em sala de aula, que abordaram conteúdos como escalas de distância astronômicas, espectroscopia astronômica, *redshift*, lei de Hubble e a expansão do universo, além da idade do universo, usando como problematização inicial o paradoxo de Olbers. A atividade foi analisada qualitativamente com a técnica de Análise de Conteúdo de Laurence Bardin, usando instrumentos de coleta de dados como um diário de campo e questionários de assimilação de conteúdo e avaliação de curso. Dentre as conclusões alcançadas, pode-se destacar o surgimento de competências e habilidades por parte dos estudantes levando-se em conta o conteúdo e a visão histórica, bem como uma consolidação ou surgimento de conceitos e visões acerca do universo, além de alguns indícios que apontam a integração da Astrofísica e da Cosmologia com a Física Moderna e Contemporânea. Assim, pode-se inferir que, nesse caso, foi perfeitamente plausível introduzir tópicos de Cosmologia Moderna e Astrofísica para os alunos do Ensino Médio, de acordo com o tema estruturador 'Universo, Terra e Vida', recomendado pelos documentos oficiais.

Palavras-chave: Ensino de Astrofísica. Ensino de Cosmologia Moderna. Estado da Arte. Sequência Didática.

ABSTRACT

FELD S., Ramissés. Notions of astrophysics and modern cosmology in high school physics classes: a learning sequence from Olbers' Paradox; 2014. 105 f. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Física) – Departamento Acadêmico de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

This work is intended to present results of a learning sequence developed on a Public College situated in the municipality of Campina Grande do Sul, Paraná, Brazil. The sequence addressed topics of Astrophysics and Modern Cosmology within the context of Modern and Contemporary Physics for students from three classes of 3rd year of high school. Also, this work sought to know the State of the Art on the Teaching of Modern Cosmology in Brazil. A total of five interventions in the classroom were given and those focused contents such scales of astronomical distance, astronomical spectroscopy, redshift, Hubble's law and the expansion of the universe and the age of the universe, using as initial questioning the Olbers' Paradox. The activity was analyzed qualitatively using the technique of Content Analysis developed by Laurence Bardin, using data collection tools such as a field diary and questionnaires of assimilation and assessment of the course. Among the reached conclusions, one can highlight the emergence of competencies and skills by students taking into account the content and historical view, a consolidation or emergence of concepts and visions about the universe, plus some evidence pointing to integration of Astrophysics and Modern Cosmology with Modern and Contemporary Physics. Thus, one can infer that in this case, it was entirely plausible to introduce topics of Modern Cosmology and Astrophysics for High School students, according to the theme 'Universe, Earth and Life', recommended by Brazilian official documents.

Key words: Astrophysics Teaching. Modern Cosmology Teaching. State of the Art. Learning sequence.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	NÚMERO DE ARTIGOS COM 'COSMOLOGIA' NO TÍTULO E 'COSMOLOGIA', 'UNIVERSO', 'BIG BANG' E 'RELATIVIDADE GERAL' NAS PALAVRAS-CHAVE.....	19
TABELA 2 -	NÚMERO DE ARTIGOS COM 'COSMOLOGIA' NO TÍTULO E 'COSMOLOGIA', 'UNIVERSO', 'BIG BANG' E 'RELATIVIDADE GERAL' EM PERIÓDICOS SELECIONADOS.....	19
TABELA 3 -	NÚMERO DE TESES E DISSERTAÇÕES SOBRE COSMOLOGIA NO ENSINO DE FÍSICA A PARTIR DE 1996 ATÉ 2012.....	20
TABELA 4 -	. LIVROS DE ASTRONOMIA E COSMOLOGIA ANALISADOS QUANTO AO SEU CONTEÚDO.....	27
TABELA 5 -	TEMAS APRESENTADOS DURANTE A SEQUÊNCIA DIDÁTICA..	33
TABELA 6 -	DETALHAMENTO DA ESTRUTURA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA..	37
TABELA 7 -	ÍNDICE DE ERROS E ACERTOS POR QUESTÃO DO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE CONTEÚDO.....	49

LISTA DE SIGLAS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBEF	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
Diagrama HR	Diagrama de Hertzsprung-Russel
ENPEC	Encontro Nacional de Pesquisa de Ensino de Ciências
EPEF	Encontro de Pesquisa de Ensino de Física
FMC	Física Moderna e Contemporânea
HFC	História e Filosofia da Ciência
NC	Natureza da Ciência
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
	Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros
PCN+	Curriculares Nacionais
PIBID	Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência
PPP	Projeto Político Pedagógico
RBEF	Revista Brasileira de Ensino de Física
RELEA	Revista Latino-americana de Ensino de Astronomia
SNEA	Simpósio Nacional de Ensino de Astronomia
SNEF	Simpósio Nacional de Ensino de Física
USP	Universidade de São Paulo
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	11
2. UMA REVISÃO DA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO BRASIL.....	13
3. ESTADO DA ARTE NO ENSINO DE COSMOLOGIA NO BRASIL	18
4. A CONSTRUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM A INSERÇÃO DE TÓPICOS DE COSMOLOGIA E ASTROFÍSICA NO 3º ANO DO ENSINO MÉDIO.....	23
4.1 O AMBIENTE	23
4.2 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	24
4.2.1 Uma visão geral da Sequência Didática.....	25
4.2.2 Escolha dos conteúdos	26
4.2.3 Paradoxo de Olbers.....	28
4.2.4 Encadeamento geral da Sequência Didática	34
4.2.5 Material didático	36
5. DETALHAMENTO DA INSERÇÃO DE TÓPICOS DE ASTROFÍSICA E COSMOLOGIA NAS AULAS DO 3º ANO DO ENSINO MÉDIO	37
6. AVALIANDO A SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	40
6.1 USANDO A ANÁLISE DE CONTEÚDO DE BARDIN COMO TÉCNICA DE ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS ESTUDANTES.....	41
6.2 ANÁLISE DO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE CURSO E DAS DECLARAÇÕES OBTIDAS POR MEIO DE DIÁRIO DE CAMPO	43
6.2.1 A ampliação do entendimento do universo	44
6.2.2 Interesse e curiosidade científica	45
6.2.3 Evolução da maneira de observar o espaço em seu torno.....	46
6.2.4 Entendimento mais crítico da ciência.....	48
6.3 ANÁLISE DO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE CONTEÚDO	49
6.4 ANALISANDO CONJUNTAMENTE O INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE CURSO E O INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE CONTEÚDO.....	52
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
7.1 ESTADO DA ARTE SOBRE O ENSINO DE COSMOLOGIA NO BRASIL	54
7.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	54
REFERÊNCIAS.....	61
APÊNDICE A: PLANO DE ENSINO.....	67
APÊNDICE B: PLANO DE AULA 1	70
APÊNDICE C: PLANO DE AULA 2	72

APÊNDICE D: PLANO DE AULA 3.....	74
APÊNDICE E: PLANO DE AULA 4.....	76
APÊNDICE G: INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE CURSO.....	93
APÊNDICE H: INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE CONTEÚDO.....	96
APÊNDICE I: TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO DE TRABALHO ESCOLAR.....	103
APÊNDICE J: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE).....	104

1. INTRODUÇÃO

A escolha do tema Cosmologia no Ensino Médio surgiu durante a fase intermediária de meu curso de Licenciatura em Física e se estendeu pelo restante de minha graduação. É de senso comum que bons momentos ficam marcados em nossas lembranças. Não foi o caso do meu Ensino Médio: essas lembranças estão borradas em minha mente. Isto inclui a disciplina de Física. A única lembrança dessa etapa de minha vida é de um professor que realizou uma conta errada e teve que apagar todo o quadro-negro.

Penso que a disciplina de Física não deixou marcas em minha lembrança, pois, em vez de as aulas de Física se tornar uma oportunidade para discutir a natureza, se transformaram em um conjunto errático de fórmulas e exercícios repetitivos, com o único objetivo de ‘passar’ na prova. Embora tivesse esse ‘desgosto’ pela disciplina de Física no Ensino Médio, preferi me matricular na licenciatura em Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), pois minha paixão pelas ciências não havia cessado.

Desde pequeno, me interessei pelo universo, mais especificamente desde quando eu ganhei revistas de divulgação científica que traziam mapas celestes. A partir desses mapas e com o conhecimento autodidata que obtive a partir de vários livros, fui capaz de montar um modelo de Sistema Solar com o intuito de encontrar os planetas no céu noturno e ser capaz de prever conjunções planetárias. A tarefa foi árdua e obtive poucos resultados: os resultados foram consistentes apenas com os planetas exteriores e não levei em consideração, por exemplo, que a órbita dos planetas possuía uma natureza elíptica.

Após algum tempo, meu interesse na área começou a diminuir. Os motivos principais foram a saturação de conteúdos quando alcancei o Ensino Médio, além de uma oportunidade de emprego na área da mecânica automotiva. Esses fatores me afastaram do interesse da Astronomia. Foi na licenciatura em Física que a chama pela Astronomia foi reacendida.

Enfim, o trajeto que me trouxe até aqui foi bastante sinuoso, mas ao mesmo tempo me proporcionou bastante prazer, pois, graças a esse caminho, tive a

oportunidade de entender o conhecimento que me dispus a absorver, pesquisar e ensinar, seja nas disciplinas de Física, nas de cunho pedagógico ou durante minha experiência no Programa de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID). Porém, o presente trabalho não é o fim dessa jornada, que está apenas começando.

Grande parte dos trabalhos dentro do Ensino da Física procuram abordar situações-problema ou propor variadas soluções, cada um a seu modo. Alguns abordam situações-problema ligadas diretamente ao currículo escolar (SALÉM, 1986) e outros focam na formação de professores (PIETROCOLA, 2005). Alguns partem para o desenvolvimento de sequências didáticas (OSTERMANN, FERREIRA e CALVACANTI, 1998).

1.1 Objetivos

Este trabalho também possui o objetivo de realizar uma sequência didática, pois anseia em completar essa lacuna que o Ensino de Física tradicional deixa escapar. Explora-se aqui uma proposta de ensino de tópicos de Astrofísica e Cosmologia Moderna nas aulas de Física do 3º ano do Ensino Médio, tentando contornar, em parte, essa deficiência nos sistemas curriculares da disciplina de Física a nível médio. Este trabalho também busca conhecer o Estado da Arte da literatura a respeito do Ensino de Cosmologia no Brasil.

Grande parte dos livros didáticos em Física para o Ensino Médio é basicamente uma reprodução da estrutura dos temas que são ofertados nos ciclos básicos de Física oferecidos em cursos superiores: dificilmente se escapa da tríade Mecânica-Termodinâmica-Eletromagnetismo. Esses temas são reproduzidos por boa parte dos professores de Física nas salas de aula de forma acrítica (AGUIAR, 2010), pois, em suas formações iniciais, esses professores entraram em contato com essa forma de apresentação dos conteúdos.

A Astrofísica e a Cosmologia Moderna foram escolhidas pelo autor do presente trabalho devido a alguns fatores principais:

- 1) O imaginário coletivo é atraído pelo estudo dos astros e do universo. Desta forma, a Astrofísica e a Cosmologia Moderna possui seu lado 'lúdico';

- 2) Usando a Astrofísica e a Cosmologia Moderna, o professor possui a oportunidade de aplicação e aprofundamento de modelos físicos já estudados em momentos anteriores nas aulas de Física;
- 3) Ao se ensinar a Astrofísica e a Cosmologia Moderna, o professor possui a oportunidade de contemplar a Física Moderna e Contemporânea,
- 4) Fascínio pessoal do autor pela Astrofísica e pela Cosmologia Moderna.

A humanidade sempre almejou entender sua origem e destino. Partindo dessa premissa, as pessoas se sentem atraídas pela Astronomia e pela Cosmologia e pelas explicações que essas áreas procuram e propõem (FELD et al., 2013). Os PCN+ também concordam com o que foi afirmado, já que:

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

A Cosmologia Moderna também oferece subsídios para abordagens interdisciplinares e desenvolve um grande contato entre as mais variadas áreas do conhecimento humano. A Física e a Astronomia, assim como a Cosmologia, praticamente surgiram juntas. Dessa forma, a Cosmologia Moderna oferece uma grande gama de oportunidades de inserção de tópicos de Física Moderna. De acordo com os PCN+:

Ao mesmo tempo, evidenciam-se as relações entre o mundo das partículas elementares, assim como os métodos para investigá-lo, com o mundo das estrelas e galáxias. Lidar com modelos de universo permite também construir sínteses da compreensão física, sistematizando forças de interação e modelos microscópicos (BRASIL, 2002, p. 78-79).

2. UMA REVISÃO DA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO BRASIL

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) recomendam a inserção de tópicos de Cosmologia nas aulas de Física do Ensino Médio, enfatizando que os “enigmas da Terra e do Universo” devem ser confrontados e especulados e que tais enigmas estão presentes nas preocupações dos jovens. Para responder ao interesse, os PCN+ recomendam propiciar a estes jovens uma “visão cosmológica das ciências”, dando-lhes ferramentas para admirar, refletir e acompanhar, por exemplo, “as novas descobertas do telescópio espacial Hubble”, ter condições para se perguntar sobre a origem do Universo e sobre as condições para que a vida exista em meio à vastidão do Universo. A Cosmologia Moderna possui características de natureza interdisciplinar e, desta maneira, pode desenvolver um diálogo com as mais variadas áreas do conhecimento humano. Dentro desse contexto, a Física possui privilégios, pois ela e a Cosmologia Moderna sempre ‘andaram lado a lado’. A Cosmologia Moderna permite várias possibilidades de relações com a Física Moderna e Contemporânea, relacionando, por exemplo, o “mundo das partículas elementares” com o “mundo das estrelas e galáxias” (BRASIL, 2002).

No entanto, existem empecilhos para um estudo mais aprofundado e a manutenção de um diálogo construtivo, como a ausência de material didático adequado, salários baixos, despreparo e descontentamento do professor em relação a sua formação inicial e continuada (LEMOS, 2010). Há também a ausência da Cosmologia Moderna nas licenciaturas. Jardim e Guerra (2013) discutem que, embora a FMC já esteja consolidada como área dentro do Ensino de Física, a Cosmologia Moderna praticamente não é vista. Os mesmos propõem um minicurso de Cosmologia para dezesseis professores de um programa de pós-graduação, com enfoque histórico-filosófico. Tais fatores são tratados nos PCN+ e, tendo em vista esse panorama, faz-se necessário discutir quais conteúdos de Física devem ser ensinados, dentro do extenso rol de conteúdos apresentados pelos documentos oficiais, para que o estudante tenha uma visão de mundo mais aberta e, conseqüentemente, se tornar um cidadão mais bem preparado. Nesse cenário, fica clara a importância de se tratar a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio.

Atualmente, a FMC já possui um número considerável de trabalhos para que possa ser reconhecida como uma área de trabalho inserida dentro do contexto do Ensino da Física (LOBATO e GRECA, 2005; OSTERMANN e RICCI, 2005; GRECA, 2000). A FMC começou a se consolidar como área em meados da década de 1980, quando começou a preocupação com o currículo defasado em comparação com o desenvolvimento da própria Física (TERRAZZAN, 1994). Embora os pesquisadores da área reconheçam a importância e a necessidade da inserção de elementos de FMC no Ensino Médio, Menezes (2000) alerta que a inclusão de novos conteúdos deve ser cautelosa, pois implica em desafios didáticos e esbarra no despreparo dos professores e na insistência dos vestibulares e do ENEM de não abordarem o assunto de uma forma mais abrangente. Isso pode representar um problema, o que revela a necessidade de mais investigações a respeito do tema.

Entretanto, ao se analisar esse campo de atuação, percebe-se a existência de preocupações, de pesquisas e de propostas diversas. Pereira e Ostermann (2009) (atualização de uma pesquisa anterior realizada por Ostermann e Moreira (2001)) realizaram uma revisão da literatura da área em revistas, dissertações, teses, projetos, livros didáticos e outras fontes dentro do Ensino da Física, focando em todos os trabalhos publicados entre 1970 e 2001. Foi constatada a existência de um grande número de trabalhos sobre divulgação ou de material de apoio aos professores. Por outro lado, também foi constatada uma falta de publicações que tratam sobre propostas de aulas testadas e de concepções alternativas sobre assuntos relacionados à FMC. A preocupação com a presença da FMC no Ensino Médio presente na revisão bibliográfica é justificada de diversas maneiras. Dentre elas, destacam-se a grande reformulação do currículo da disciplina de Física, como já apontado pelos PCN, e o contato do estudante com tópicos de FMC atraindo-o para as fronteiras da ciência e tecnologia.

Existem autores preocupados com o modo de como a transposição didática é efetuada para a FMC. Brockington e Pietrocola (2005) analisaram fatores necessários para a inserção de tópicos de Mecânica Quântica nas aulas de Física do Ensino Médio. Com base teórica em Ives Chevallard, os autores questionam algumas regras de aplicabilidade da transposição didática a elementos de FMC. Evidenciam que os trabalhos realizados até então são mais que suficientes para consolidar a necessidade da atualização do currículo dos programas de Ensino

Médio, embora seja escassa a quantidade de trabalhos que sugerem a aplicação de tópicos de FMC em sala de aula.

Outros autores abordam questões metodológicas, epistemológicas, e históricas dentro da FMC, formulando estratégias de ensino. Dionísio (2005) propõe que os artigos originais de Einstein devem ser apreciados da melhor maneira possível, para que o impacto dos trabalhos desse grande cientista seja visto e compreendido, avaliado e reconhecido, tanto pelo mundo em geral quanto em nossas vidas. Já Medeiros e Medeiros (2005) reconhecem à alegria da aprendizagem tanto defendida por Einstein e atribuem valores pedagógicos às atividades lúdicas, especialmente na apresentação de conteúdos mais complexos, como a relatividade geral e, em particular, o princípio da equivalência. Também reconhecem que a utilização de brinquedos científicos podem evidenciar princípios da FMC.

A relação da FMC com o cotidiano também é abordada. O ensino do efeito fotoelétrico, do laser e da radiação de corpo negro pode ser contemplado com a utilização de experiências de baixo custo, acessíveis às escolas (VALADARES E MOREIRA, 2004). Especificamente no ensino de Física Quântica, os fundamentos do comportamento dualista onda-partícula, interferência, difração e espectroscopia foram evidenciados na construção de materiais didáticos de baixo custo (CAVALCANTE E TAVOLARO, 2004). Fanaro, Arlego e Otero (2007) também objetivam introduzir os princípios fundamentais da Física Quântica, mas abordando os problemas encontrados e contornados por Richard Feynman em sua teoria das integrais de caminho, realizando uma transposição didática adequada para esse fim. Os autores foram além e propuseram também uma atividade considerando a Teoria Relativística de Campos na escola média.

As concepções prévias em FMC também são contempladas. Montenegro e Pessoa Júnior (2002) investigam as interpretações de alunos de Ensino Médio a respeito de tópicos de Física Quântica. Eles pressupõem que não basta o aluno aprender apenas as fórmulas básicas para que haja a aprovação, mas que existem questões didáticas mais sérias, pois o aluno, ao resolver problemas nessa temática, automaticamente constrói uma representação do mundo físico que pode não estar condizente com os pressupostos da Mecânica Quântica. Por outro lado, outros autores determinam os pontos epistemológicos, históricos e didáticos necessários

para a introdução de tópicos de Relatividade Restrita (ARRIASSECQ e GRECA, 2006).

Há trabalhos que focam exclusivamente na divulgação da FMC ou como material de consulta para os professores de nível médio. Santos (2006) defende o uso de diagramas como recurso adicional no ensino de Relatividade Restrita. O autor argumenta que um dos principais empecilhos encontrados pelo professor é como ensinar tópicos de FMC a seus alunos: estes trazem suas curiosidades e materiais encontrados em diversas fontes, principalmente a internet, mas o professor, na maior parte das vezes, não possui a qualificação necessária para lidar com esses temas, seja pela deficiência em sua formação inicial ou continuada, seja pela natureza desses tópicos, devido à dificuldade de contextualização. Arruda e Toguinho (2004) fazem uma compilação de experimentos demonstrativos de FMC de baixo custo. Já Andrade, Nascimento e Germano (2007) atrelam a FMC à Arte. Os autores identificam elementos das obras de Salvador Dali que podem ser usados como recursos didáticos no ensino de FMC.

Há também propostas de unidades didáticas testadas em sala de aula, com resultados de aprendizagem. Boa parte dos trabalhos envolve o ensino de Física Quântica no ensino médio, tentando responder a questão de como conceitos de Física Quântica podem ser estabelecidos na mente dos estudantes (PAULO e MOREIRA, 2004; GRECA e HERSCAVITZ, 2005). Paralelamente, existem propostas de unidades didáticas envolvendo Mecânica Quântica no ensino médio focado para a formação de professores (OSTERMANN e RICCI, 2005). Por outro lado, a Relatividade Restrita também é contemplada, associando-a a aprendizagem da natureza da ciência e seus pressupostos (KÖHNLEIN e PEDUZZI, 2005).

Ostermann e Ricci (2002) analisam a Relatividade Restrita presente em livros didáticos, dando enfoque especial para a contração de Lorentz-FitzGerald e na deformidade de objetos relativísticos. Afirmam que, além de o tema ser pouco abordado em livros didáticos, alguns ainda apresentam erros conceituais. Os autores realizaram um trabalho semelhante três anos mais tarde (IBIDEM, 2005) e analisaram a presença da massa relativística e a equivalência massa-energia nos livros didáticos, novamente encontrando poucos resultados e erros conceituais.

Outras justificativas que se pode encontrar na para a necessidade de inserção de FHC literatura são: a possível compreensão das tecnologias da atualidade (BRASIL, 2002), a sua importância na representação da mudança de paradigma da Física, essencial no Ensino Médio quando à noção do desenvolvimento das ciências (LINO, 2010; PAULO, 2006; MACHADO, 2006), e como subsídio para questões que envolvam Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) (REIS, 1999).

Os artigos apresentados acima reforçam a ideia de que a formação de professores deve ser repensada. Para ocorrer a consolidação da FMC nas salas de aula, antes se deve concentrar na formação de professores, analisando suas dificuldades, mas considerando o que eles pensam acerca do tema. Os resultados indicam que é perfeitamente possível inserir FMC no Ensino Médio, desde que não se cometa o mesmo erro visto em outros temas, como, por exemplo, o excesso procedimentos mecânicos, a resolução de problemas fora de contexto e a ênfase desnecessária em passagens matemáticas (CHIARELLI, 2006).

3. ESTADO DA ARTE NO ENSINO DE COSMOLOGIA NO BRASIL

Com o objetivo de se conhecer como a Cosmologia no Ensino de Física está sendo trabalhada no Brasil, foi realizado um levantamento do tipo estado da arte (FERREIRA, 2002) dos trabalhos realizados na área nos principais eventos de Ensino de Física, Astronomia e Ciências do país: Os eventos pesquisados foram o Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF), o Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências (ENPEC), o Simpósio Nacional de Ensino de Astronomia (SNEA) e o Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF). O tema também foi pesquisado nos principais periódicos de Ensino de Física e de Astronomia do Brasil: a Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), o Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) e a Revista Latino-americana de Ensino de Astronomia (RELEA). Além disso, foi elaborada uma coletânea de teses e dissertações da área, defendidas entre 1996 e 2012.

Optou-se por pesquisar os trabalhos sobre Cosmologia no Ensino de Física nas atas dos cinco últimos eventos. O critério primário de seleção de artigos foi a presença da palavra Cosmologia no título. Em seguida, foram escolhidos os artigos que continham como palavras-chave os termos Cosmologia, Universo, Big Bang e Relatividade Geral. Após essa etapa, efetuou-se a leitura dos resumos desses artigos com o intuito de categorizá-los em temas comuns. Em cada categoria, procedeu-se à leitura de alguns artigos selecionados com o objetivo de caracterizar e detalhar cada tema dominante inerente à categoria dada. Os critérios de pesquisa dos artigos nos periódicos foram os mesmos já citados anteriormente. Quanto às dissertações e teses, além da pesquisa no título e nas palavras-chaves, foi necessária a análise dos resumos de alguns trabalhos previamente selecionados para verificar se o trabalho em questão se encaixava dentro do tema de estudo. As dissertações e teses foram pesquisadas no Banco de Teses e Dissertações da CAPES, na Biblioteca de Teses e Dissertações da USP e na coletânea de teses e dissertações elaborada por Bretones e Megid Neto (2005) e atualizado por Langhi (2008).

Os artigos encontrados nas atas dos eventos estão listados na tabela 1:

Tabela 1 - Número de artigos com 'Cosmologia' no título e/ou 'Cosmologia', 'Universo', 'Big Bang' e 'Relatividade Geral' nas palavras-chave.

SNEA		ENPEC		EPEF		SNEF	
Ano	Número de artigos	Ano	Número de artigos	Ano	Artigos	Ano	Número de artigos
2012	3	2013	2	2012	0	2013	2
2011	1	2011	1	2011	0	2011	2
		2009	1	2010	2	2009	3
		2007	0	2008	0	2007	0
		2005	1	2006	0	2005	1

Fonte do autor

Os artigos encontrados em periódicos selecionados estão listados na tabela 2:

Tabela 2 - Número de artigos com 'Cosmologia' no título e 'Cosmologia', 'Universo', 'Big Bang' e 'Relatividade Geral' em periódicos selecionados.

RBEF		CBEF	
Ano	Número de artigos	Ano	Número de artigos
2002	1	2005	1
2011	1	2000	2
		1989	1

Fonte do autor

As teses e dissertações encontradas estão listadas na tabela 3:

Tabela 3 - Número de teses e dissertações sobre Cosmologia em Ensino de Física, a partir de 1996 até 2012.

Ano	Número de dissertações	Número de teses
2012	1	0
2011	0	1
2010	3	0
2009	1	0
2008	1	0
2007	1	0
2006	3	1
2005	1	0
2004	1	0
2001	1	0
1996	1	1
Total	14	3

Fonte do autor

Procedeu-se a uma análise inicial dos resumos dos artigos encontrados nas atas dos eventos, nos periódicos e nas dissertações e teses, com o intuito de se realizar uma primeira categorização. Constatou-se que os artigos de eventos focam primariamente na História e Filosofia da Ciência (HFC), na Natureza da Ciência (NC), nas relações antagônicas da Ciência e Religião, e na Física Moderna e Contemporânea (FMC). Alguns artigos que abordam os temas mencionados acima também discutem a formação de professores. Por outro lado, os artigos encontrados nos periódicos, apesar de também abordar a História e a Filosofia da Ciência, concentram-se mais na divulgação da própria Cosmologia. As teses e dissertações também focaram a História e a Filosofia da Ciência, mas o tema principal foi a Astronomia no Ensino de Física, usando a Cosmologia como tema motivador.

Os artigos, teses e dissertações que abordam a Cosmologia e a História e a Filosofia da Ciência (HFC) e a Natureza da Ciência (NC) defendem que a HFC pode ajudar na contextualização nas aulas de Física, enquanto a NC foca em aspectos essenciais da Ciência (HENRIQUE, 2012). Porém, 45% dos trabalhos que abordam a Cosmologia sob este viés utiliza essa ciência como exemplo para a contextualização da HFC e da NC dentro das salas de aula.

Os trabalhos que tratam a Cosmologia no contexto da relação entre Ciência e Religião novamente a trazem apenas como exemplo de disputas filosóficas e religiosas, encaixando tais circunstâncias dentro da epistemologia da Ciência, que pode ser levada para a sala de aula (HENRIQUE e SILVA, 2010).

Também há artigos, teses e dissertações que tratam a Cosmologia como conteúdo a ser ministrado em salas de aula, como defendem Aguiar (2010) e Jardim e Guerra (2011), dentro do contexto da FMC. Além do mais, embora não tenha sido possível encontrar artigos que tratem a Cosmologia como extensão do Ensino de Astronomia em eventos e revistas, esse é um tema recorrente em teses e dissertações (MEDEIROS, 2006). Já a maioria dos artigos encontrados em revistas especializadas apenas traz a Cosmologia em forma de material de divulgação voltada aos professores, como o exemplo de Neves (2000).

Em países europeus e nos Estados Unidos, a Cosmologia está mais presente em aulas de Física de estudantes que estão nos anos finais da educação básica. Pimblett e Newman (2003), ao analisar a proposta curricular do Reino Unido, chegaram à conclusão que um aluno entre 14 e 16 anos deve saber inicialmente a relação de Hubble, para que possa discutir sobre a evolução do Universo: saber se o universo se expandirá para sempre ou se em algum momento começará um processo de contração, se tornando cada vez mais denso e quente até atingir a singularidade. Para isso, é necessário possuir algumas noções de relatividade geral: entender como a quantidade de massa interfere na estrutura do universo, além de saber que existem evidências observacionais que favorecem um universo em expansão eterna.

Pimblett e Newman também mencionam que, se o papel da massa sobre a estrutura do universo é de fundamental importância, é necessário que se faça comentários sobre a matéria e energia escura. Como um apoio fundamental para a Teoria do Big Bang, deve-se mencionar a radiação cósmica de fundo. A Teoria do Estado Estacionário também é contemplada.

Para cursos mais avançados, mas ainda pré-universitários, Pimblett e Newman propõem iniciar a discussão com o Paradoxo de Olbers. Através da problematização científica proporcionada pelo paradoxo, é possível discutir a respeito da natureza do Universo, se ele é finito ou infinito.

Nos Estados Unidos, Bailey et al. (2012) investigam concepções prévias de estudantes que nunca tiveram contato formal com a Astrofísica e a Cosmologia Moderna. Eles investigaram as concepções de 1 270 estudantes, abordando temas como a definição de ano-luz e a estrutura do universo, focando nas definições e descrições do Sistema Solar, das galáxias, do próprio universo e das relações entre eles, a composição e formação do universo. Também estudaram as concepções dos estudantes a respeito da composição do universo e a formação dos elementos químicos, a matéria escura e a energia escura, além de focar também na evolução do universo, versando a respeito da teoria do *Big Bang*, a idade do universo e como o universo muda com o tempo. Seus resultados indicam que a definição de ano-luz não é plenamente entendida, confundindo com uma medida de tempo, além de não proverem respostas satisfatórias sobre o Sistema Solar e as galáxias e de não saberem praticamente nada sobre a matéria escura e a energia escura. Também concluíram que os estudantes não possuem uma estimativa correta sobre a idade do universo, e alguns ainda afirmaram que o universo é infinito espacialmente e temporalmente.

4. A CONSTRUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA COM A INSERÇÃO DE TÓPICOS DE COSMOLOGIA E ASTROFÍSICA NO 3º ANO DO ENSINO MÉDIO

Um dos objetivos deste trabalho é analisar os resultados da introdução de tópicos de Cosmologia Moderna e Astrofísica em aulas regulares de Física dentro do contexto da Física Moderna e Contemporânea (FMC) em uma escola da rede pública paranaense.

Para tanto, decidiu-se realizar uma Sequência Didática contendo alguns tópicos de Astrofísica e Cosmologia Moderna, abordando tópicos de espectroscopia astronômica, além da estrutura e a origem do Universo. A sequência didática será dividida em cinco momentos, tendo como duração seis horas-aula.

4.1 O AMBIENTE

A Sequência Didática foi realizada em duas turmas de 3º ano do Ensino Médio do Colégio Estadual Campos Sales, um colégio da rede pública do Estado do Paraná situado na sede do município de Campina Grande do Sul. A instituição foi criada a partir do decreto nº 26.692 de novembro de 1959, sob a denominação de Escola Normal Regional de Campina Grande do Sul. Em maio de 1960, a escola passou a se chamar Escola Normal Regional Campos Sales, em homenagem a Manoel Ferraz de Campos Sales.

Inicialmente, a instituição ofertava o ensino equivalente ao Ginásio, mas com disciplinas para habilitação em Magistério. Em 1967, a formação de mestres foi interrompida com a transformação da Escola Normal em Ginásio, com turmas de 1ª a 4ª séries. Em 1981, a escola abriu turmas de 5º a 8º série, além de turmas de 2º grau no ano seguinte. Sua instalação e infraestrutura atuais estão desde 1988 situados ao largo da Rodovia PR-506, no km 7.

No município de Campina Grande do Sul, o Colégio Estadual Campos Sales é uma das instituições públicas de educação de maior tradição, possuindo atualmente turmas de ensino médio no período de manhã, tarde e noite. O colégio possui mais de 1000 alunos que vêm de todo o município de Campina Grande do Sul, além de alunos de Bocaiuva do Sul e de Quatro Barras. O perfil social e geográfico desses

alunos é completamente distinto, dependendo da região onde moram: alguns são provenientes de regiões urbanas, enquanto outros são da zona rural. Mais de um décimo dos alunos participantes já cursaram alguma escola particular em algum momento.

O colégio possui um laboratório multidisciplinar e televisões especiais para a apresentação de vídeos e slides. O colégio também dispõe de dois projetores, que foram utilizados no decorrer da Sequencia Didática. No momento do planejamento do início do ano de 2014, havia apenas o autor deste trabalho atuando como professor de Física na instituição e houve liberdade para a inserção da Sequência Didática proposta em meados de maio daquele ano.

Como o ensino de tópicos de Astrofísica e Cosmologia Moderna proposto está no âmbito da Física Moderna e Contemporânea, decidiu-se efetuar-lo em turmas de 3º ano do Ensino Médio. As aulas foram desenvolvidas pelo autor deste trabalho em duas turmas de 3º ano nas quais é docente, contendo ao todo 66 alunos.

4.2 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Um dos grandes desafios de se realizar uma sequência didática é realizar um planejamento que seja capaz de proporcionar aos alunos uma aprendizagem eficaz. Porém, um dos empecilhos é o tempo, que quase sempre é escasso em relação aos conteúdos que desejaríamos contemplar. Por isso, escolher os conteúdos é de fundamental importância. A sequência didática está atrelada ao Projeto Político Pedagógico (PPP) da escola e sua estrutura curricular deve conter desafios, que levem o aluno para uma base mais ampla de conhecimentos. Para tanto, deve-se criar situações didáticas variadas para que os conteúdos abordados possam ser retomados nas mais variadas oportunidades. Para que isso seja efetivado, é essencial que se tenha um planejamento igualmente eficaz, que contemple diversas metodologias de ensino (GOUVEIA, 2010).

Optou-se em avaliar como algumas alterações na proposta curricular tradicional podem causar no entendimento do conhecimento científico dos estudantes do Ensino Médio. A escolha da inserção de tópicos de Astronomia e Cosmologia em turmas do 3º ano pode ser justificada, pois, no planejamento anual,

o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) foi contemplado para essas turmas, mais especificamente para o último trimestre, e a Astrofísica e a Cosmologia Moderna pode se articular perfeitamente com a FMC.

4.2.1 Uma visão geral da Sequência Didática

De uma forma geral, o objetivo da Sequência Didática era levar para os estudantes a ideia de que a Ciência é algo que está sempre em construção (ROBILOTTA, 1985), além de trazer a ideia de modelagem científica da realidade.

No momento da elaboração da Sequência Didática, procurou-se realizar uma progressão espacial e temporal durante a apresentação dos conceitos abordados. Para isso, decidiu-se iniciar a sequência explicitando as distâncias envolvidas dentro do Sistema Solar, das constelações próximas, dos aglomerados estelares, da Via Láctea, das galáxias vizinhas e das galáxias mais distantes e seus aglomerados, finalmente chegando ao consenso atual do que seja o universo e sua origem, o Big Bang.

A sequência didática foi estruturada para contemplar os modelos corpuscular e ondulatório da matéria, na interação luz-matéria através do modelo atômico de Bohr, uma introdução à espectroscopia astronômica, interpretações dessa espectroscopia com o auxílio do diagrama de Hertzsprung-Russel (H-R), partindo-se daí para as conclusões do universo em expansão, a Lei de Hubble e finalmente uma breve descrição do Big Bang.

Tendo em vista essas progressões espaciais, temporais e conceituais, foi produzida uma estrutura para as aulas tendo como tema a Astrofísica e a Cosmologia Moderna. De fato, o cotidiano da sala de aula exige um planejamento das atividades e sequências didáticas. Os PCN+ afirmam que

“Para a organização dessas atividades, faz-se necessário privilegiar a escolha de conteúdos que sejam adequados aos objetivos em torno dos quais seja possível estruturar e organizar o desenvolvimento das habilidades, competências, conhecimentos, atitudes e valores desejados” (BRASIL, 2002, p. 69).

Para tanto, a Sequência Didática foi norteada pela:

- Breve apresentação de conceitos sobre planetas, estrelas, constelações, aglomerados estelares, galáxias e aglomerados de galáxias;
- Interação entre a luz e matéria, com uma introdução à espectroscopia astronômica;
- Métodos de estimativa de distâncias astronômicas;
- Breve introdução à Cosmologia Moderna.

4.2.2 Escolha dos conteúdos

Recorreu-se a uma análise dos conteúdos de dois livros-texto de nível superior que discutem sobre Astronomia e Cosmologia Moderna, um a nível nacional e outro a nível internacional, com tradução em português. Também foi usado um livro de divulgação científica, intitulado *O Big Bang: A Origem do Universo*. Estes livros-texto não são livros didáticos costumeiramente usados pelos alunos nas aulas de Física, pois há nesses uma carência de conteúdos relacionados à Astrofísica e à Cosmologia Moderna.

Tabela 4 - Livros de Astronomia e Cosmologia analisados quanto ao seu conteúdo. (continua)

Livros	Conteúdos
COMINS, Neil F.; KAUFMANN III, William J. Descobrimdo o Universo . 8 ed. Editora Bookman. Porto Alegre. 2010	<i>Big Bang</i> Relatividade geral Deslocamento Doppler Constante de Hubble Radiação de fundo Isotropia e homogeneidade História da Cosmologia Evolução do universo Isotropia e homogeneidade como resultado do Big Bang Matéria e antimatéria Opacidade inicial do universo Formação das galáxias Estrutura das galáxias Destino do Universo Densidade média Forma do espaço-tempo Energia escura
SILK, Joseph. O Big Bang: A Origem do Universo . 1 ed. Editora Universidade de Brasília. Brasília. 1980.	Origem da Cosmologia Moderna Cosmologia observacional Evidências do Big Bang Modelos cosmológicos Início do Universo Início da estruturação do Universo em galáxias Evolução e estrutura das galáxias Formação das estrelas
OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. Astronomia e Astrofísica . 2. ed. Editora Livraria da Física, 2004.	O Paradoxo de Olbers Relatividade geral Lentes gravitacionais Expansão do universo Big Bang Matéria escura Idade do universo Radiação de fundo Modelo padrão de partículas

Fonte do autor

Optou-se por escolher os conteúdos apresentados no capítulo 3 e do início do capítulo 4 do livro *O Big Bang: A Origem do Universo*. O capítulo 3 engloba a Cosmologia Moderna Observacional e contempla a estrutura do Universo. Para isso, o livro recorre às observações de *redshift* encontrado em objetos extragalácticos distantes e a hipótese de Hubble de que o universo está em expansão. O capítulo também contempla a homogeneidade e a isotropia do Universo além do paradoxo de Olbers. O início do capítulo 4 contempla a idade do universo.

Com base em Silk (1980), a Sequência Didática, dividida em seis horas-aula, tem como início uma problematização envolvendo o Paradoxo de Olbers, que abre a possibilidade de se discutir sobre a estrutura e a idade do Universo e como a solução para esse paradoxo é a teoria do *Big Bang*. Durante as quatro aulas teóricas, foi discutida a escala astronômica de distâncias, a espectroscopia astronômica, o efeito Doppler para a luz, a hipótese de Hubble, a isotropia e a homogeneidade do espaço e a idade do Universo.

4.2.3 Paradoxo de Olbers

4.2.3.1 O que é afinal de contas esse paradoxo?

Antes do século XVI, o mundo ocidental acreditava em um sistema de mundo aristotélico, onde a Terra era o centro de um universo finito. As evidências observacionais rudimentares apoiavam essa ideia, exceto no que diz a respeito às trajetórias erráticas dos planetas, que não condiziam com as órbitas circulares perfeitas, crença na época. Copérnico introduziu o sistema heliocêntrico, em uma tentativa de conciliar a crença nos círculos perfeitos com a estrutura do universo. Mas tirar o

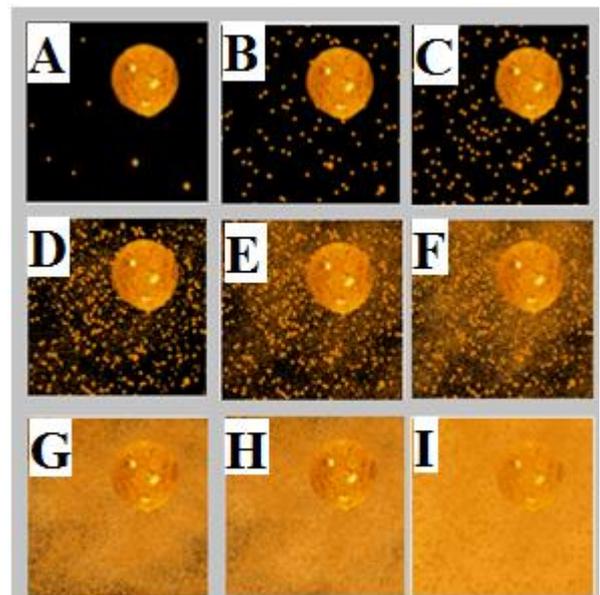


Figura 1: Na figura A há um espaço infinito composto de uma estrela maior e algumas estrelas próximas. Na figura B são adicionadas algumas estrelas mais distantes. Mais e mais estrelas, cada vez mais distantes, são adicionadas nas figuras C, D, E e F. A quantidade de estrelas adicionada nas figuras G e H é tão grande que quase encobre todo o fundo escuro. Na figura I há, hipoteticamente, infinitas estrelas em um espaço infinito e todo o céu está preenchido de estrelas.

centro do universo da Terra para o Sol trazia sérias questões filosóficas? E se o centro do universo estiver em qualquer lugar? E se o universo tiver algum centro? A noção de um universo infinito começou a ser filosoficamente plausível (NEWTON, 2014).

Thomas Digges em seu *Perfect Description of the Celestial Spheres*, publicado em 1576, desmantelou as esferas cristalinas de Aristóteles e posicionou as estrelas aleatoriamente em um espaço infinito. Digges problematizou sua distribuição, alegando que, se há infinitas estrelas no espaço infinito, o céu seria totalmente brilhante. Sua solução foi dizer que as estrelas distantes seriam demasiadamente fracas para serem observadas. A primeira pessoa a perceber a importância cosmológica das preposições de Digges foi Johannes Kepler. Baseado no trabalho de Galileu Galilei, *Diálogo com o mensageiro das estrelas*, Kepler defendeu um universo finito, pois o céu noturno seria tão brilhante quanto o Sol em um universo infinito. Entretanto, mais e mais astrônomos estavam atraídos com a ideia de um universo infinito. A Lei da Gravitação de Newton exigia um universo homogêneo e, portanto, infinito, para que o universo não se colapsasse gravitacionalmente sobre si (NEWTON, 2014).

Uma primeira análise séria veio com o astrônomo suíço Jean Philippe de Chéseaux, em 1744. Ao realizar uma análise geométrica e matemática, de Chéseaux alcançou a mesma conclusão de Digges: se o universo for infinito, o brilho do céu noturno seria de 180 000 vezes maior do que o brilho do Sol, já que o céu noturno ocupa 180 000 vezes a região ocupada pelo Sol. De Chéseaux sugeriu que a poeira interestelar obscurecia o brilho das estrelas mais distantes. O paradoxo foi creditado a Heinrich Olbers, um astrônomo alemão, que em 1826 afirmou que se o universo for infinito, cada linha reta que saia da terra alcançará fatalmente uma estrela. Essa explicação é mais sucinta e não requer que as estrelas estejam dispostas aleatoriamente, mas podem estar agrupadas em galáxias (NEWTON, 2014).

John Herschel, em 1831, desmontou a explicação de de Chéseaux, afirmando que o brilho de 180 000 sóis vaporizaria em algumas horas a Terra e realizaria o mesmo com a poeira interestelar, que entraria em equilíbrio térmico com a própria radiação, reemitindo-a novamente. Edward Fournier d'Albe afirmou que nem todas as estrelas emitiriam brilho. Uma solução definitiva veio com Lord Kelvin, em 1901,

em seu trabalho *On Ether and Gravitational Matter through Infinite Space*, onde ele afirmou que o número de estrelas é finito. Em um dos seus trabalhos anteriores, Kelvin afirma que uma estrela não brilha por toda a eternidade. Embora não fossem cientistas, Mark Twain e Edgar Allan Poe, em *Eureka* afirmaram que o universo é finito, com base na velocidade finita da luz (NEWTON, 2014).

Para se realizar uma introdução ao paradoxo, deve-se realizar a seguinte pergunta: Por que o céu noturno é escuro? A razão de essa pergunta ser importante é que sua resposta pode nos dizer sobre a distribuição de estrelas e galáxias no universo. Considere a possibilidade de o universo ser infinito e que está repleta de um número infinito de objetos brilhantes (as estrelas e as galáxias que as contém). Se isso for verdade, toda linha reta que brotar da superfície da Terra e for para o espaço eventualmente encontrará um objeto brilhante. Isso significa que se o universo for infinito e contiver um número infinito de objetos brilhantes, o céu noturno será brilhante. Mas o céu noturno é escuro e isso mostra que uma das suposições esboçadas acima acerca do universo está errada (PALMA, 2014).

É possível representar a Terra em um universo de três dimensões com as estrelas distribuídas aleatoriamente em torno do nosso planeta. Pode-se desenhar linhas, de um determinado ponto de vista, que ligam a Terra a todas as estrelas desse ponto de vista. Se o universo for infinito e estiver repleto de estrelas, toda linha desenhada acabará em uma estrela. É possível usar a analogia de uma floresta nesse caso: há tantas árvores em um determinado ponto de vista que é impossível ver o fundo. Cada linha de visão terminará em uma árvore (PALMA, 2014).

Considerando matematicamente a questão, todo objeto brilhante distante parece que perde parcialmente seu brilho comparado ao esse mesmo objeto brilhante quando está mais próximo. A este brilho chamamos de intensidade luminosa I .

$$I = \frac{P_{OT}}{A}$$

Basicamente, a intensidade luminosa é a potência luminosa P_{OT} por unidade de área A , ou seja, é a potência luminosa 'diluída' em uma área. Quanto maior a

área, menor a intensidade. Para um ponto brilhante P , sua potência luminosa se espalha radialmente e é 'diluída' em uma superfície esférica de área A .

$$A = 4\pi r^2$$

onde r é o raio da esfera. Portanto, a intensidade luminosa I pode ser escrita, para o caso de uma fonte luminosa pontual:

$$I = \frac{P_{OT}}{4\pi r^2}$$

Isso significa que o brilho do objeto, no caso uma estrela, cairá em quatro vezes se sua distância dobrar duas vezes.

Vamos supor que a distribuição de estrelas no universo seja homogêneo e que é possível determinar uma densidade superficial de estrelas, que é constante.

$$m = \frac{N}{A}$$

onde m é a densidade superficial de estrelas, N é o número de estrelas e A é a área. Pode-se esboçar cascas esféricas imaginárias em torno da Terra. Agora, vamos supor que haja cascas esféricas concêntricas na Terra. Portanto, a densidade superficial m de estrelas na casca esférica será

$$m = \frac{N}{4\pi r^2}$$

e o número de estrelas N em uma superfície de uma casca esférica será

$$N = 4\pi m r^2$$

Cada estrela atrelada à casca esférica fornece uma potência luminosa P_{OT} . Como há N estrelas, cada casca esférica fornece $4\pi m r^2 P_{OT}$ como potência luminosa e a intensidade observada na Terra devido a essa casca esférica será

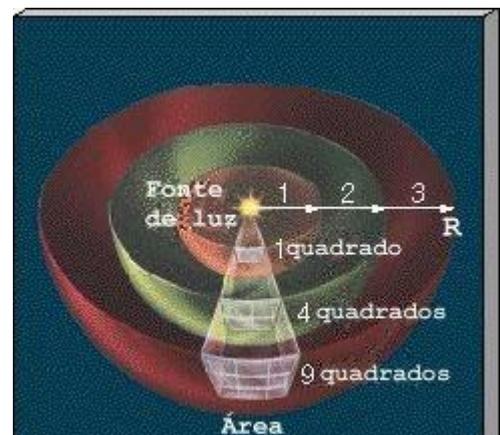


Figura 2: Representação esquemática de uma fonte de luz pontual e de cascas esféricas concêntricas: na esfera 1, parte da potência luminosa está iluminando uma unidade de área. Essa mesma potência alcança a esfera 2, mas 'diluída' em 4 unidades de área, e essa mesma potência alcança a esfera 3, mas ainda mais 'diluída' em 9 unidades de área.

$$I = \frac{4\pi m r^2 P_{OT}}{4\pi r^2} = m P_{OT}$$

Nota-se que a intensidade luminosa de uma casca esférica não depende da distância r . Uma casca esférica próxima fornecerá a mesma intensidade luminosa que uma casca esférica longínqua. Supondo um espaço infinito, haverá infinitas cascas esféricas. Sendo assim,

$$\int_0^{\infty} m P_{OT} dr = \infty$$

e o brilho do céu noturno seria infinito.

Pode-se argumentar que parte do brilho emanado das cascas esféricas longínquas é absorvido pelas estrelas em cascas esféricas mais próximas. Mesmo assim, o brilho do céu noturno passaria de infinito para o mesmo da superfície do Sol por unidade de área solar aparente no céu. Porém, mesmo se observando com os mais poderosos telescópios do mundo, é perfeitamente possível observar espaços escuros entre as galáxias mais distantes conhecidas. Ou seja, o céu noturno é majoritariamente escuro (PALMA, 2014).

Ainda há outras argumentações para a atenuação da luz provinda dessas cascas esféricas, como por exemplo, a poeira interestelar: haveria poeira suficiente no universo para bloquear boa parte da radiação luminosa que alcança nosso céu noturno. Esse argumento cai por terra quando se considera o princípio conservação da energia: a radiação luminosa provinda das estrelas aumentaria a temperatura da poeira e, após certo tempo, essa poeira entraria em equilíbrio térmico com um universo luminoso e também emitiria sua própria luz, não atenuando a luz que chegaria ao céu noturno (PALMA, 2014).

A resolução do paradoxo passa por diferentes possibilidades. Uma primeira possibilidade é que o universo não seria infinito: não haveria cascas esféricas suficientes para tornar o céu noturno brilhante; a segunda possibilidade é que o universo poderia ser infinito, mas o número de estrelas é finito, e uma terceira possibilidade é que o universo é suficientemente jovem para que a luz percorresse todo o caminho entre as estrelas e a Terra. Por meio dos trabalhos que começaram com Edwin Hubble, pode-se inferir a idade do universo. A terceira possibilidade

surge com força. Porém, de acordo com a relatividade geral de Einstein, espaço e tempo estão atrelados e a própria expansão do espaço, descoberta por Hubble, leva à marcação positiva do tempo. Portanto, tem-se um espaço e um tempo finitos, de acordo com a Teoria do *Big Bang* (PALMA, 2014).

4.2.3.2 O Paradoxo de Olbers como problematização inicial

Tendo em vista o que foi discutido por Pimblett e Newman (2003) e por Silk (1980), a sequência didática será iniciada com a apresentação do Paradoxo de Olbers. Para tanto, propôs-se aos alunos um “universo em miniatura”, onde os alunos ligariam a lanterna ou a tela de seus celulares. As luzes dos aparelhos simulariam a luz das estrelas. Neste momento, terá que ser usada a imaginação coletiva dos estudantes: E se cada vez mais e mais luzes forem acesas? E se o número de luzes for infinito em um espaço infinito? Poderíamos, nesse caso, ver o ‘fundo’?

A problematização com a introdução do Paradoxo de Olbers está amparada por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), onde dividem uma intervenção didática em três momentos pedagógicos: a problematização, a organização do conhecimento e a aplicação do conhecimento. De acordo com os autores, a Problematização Inicial é a apresentação de situações que os alunos conhecem e vivenciam. Não era o caso do Paradoxo de Olbers, pois esse era desconhecido entre os alunos. Devido a isso, procedeu-se à atividade dos celulares, para levantar as questões necessárias e abordadas pelo paradoxo. Foi nesse momento que os estudantes tiveram a oportunidade de desafiar seus conhecimentos iniciais e elaborar questões contraditórias com o seu próprio conhecimento prévio.

O objetivo final da problematização é dar a oportunidade ao estudante de realizar uma postura crítica, encarando as interpretações propostas para debate e reconhecer a necessidade de se alcançar novos conhecimentos, que serão a base para a interpretação da situação dada. Com a problematização, torna-se possível para o professor saber o que os estudantes pensam e sabem sobre uma determinada situação. É o professor a pessoa responsável por organizar as

discussões, buscando sempre o questionamento das interpretações que foram apresentadas pelos alunos (DELIZOICOV apud PIETROCOLA, 2001).

4.2.4 Encadeamento geral da Sequência Didática

Com o intuito de facilitar a descrição da Sequência Didática, as aulas foram classificadas em três categorias: Astronomia, Astrofísica e Cosmologia.

Pensando nos conceitos apresentados e levando em consideração os temas estruturadores dos PCN+ (BRASIL, 2002), essa Sequência Didática será chamada de “Inserção de tópicos de Astrofísica e Cosmologia”. Desde a concepção desta Sequência Didática, percebeu-se uma grande afinidade com a proposta apresentada e com o tema estruturador “Universo, Terra e Vida”, contido nos PCN+.

A tabela 5 apresenta resumidamente os temas apresentados durante a Sequência Didática:

Tabela 5 – Temas apresentados durante a Sequência Didática.

Categoria	Conteúdo
Astronomia	Sistema Solar Sistema planetário Escala de distâncias astronômicas para objetos próximos Constelações Eclíptica Estrelas duplas Aglomerados estelares Galáxias Observação astronômica Modelo ondulatório da luz Espectro eletromagnético Dualidade onda-partícula Interação luz-matéria
Astrofísica	Carga elétrica e o elétron Modelo atômico de Bohr Estrutura das estrelas Escala de distâncias astronômicas para objetos distantes Espectros estelares Diagrama H-R
Cosmologia	Diferenças entre a Cosmologia de Newton e de Einstein Efeito Doppler (redshift e blueshift) Lei de Hubble Radiação cósmica de fundo Modelo padrão de partículas Matéria e energia escura

Fonte do autor

O foco desta Sequência Didática é o conceito. As bases conceituais dados pela sequência criam novas estruturas para o conhecimento físico dos estudantes, articulando vários conceitos normalmente vistos sobre FMC no Ensino Médio em torno da proposta apresentada. Desta forma, a Sequência Didática está em sintonia com o PCN+, que diz que o estudante deve adquirir:

“uma compreensão atualizada das hipóteses, modelos e formas de investigação sobre a origem e evolução do universo em que vive, com que sonha e que pretende transformar” (BRASIL, 2002).

4.2.5 Material didático

Levando-se em consideração que esta Sequência Didática é uma proposta alternativa às aulas de Física costumeiramente ministradas em escolas de cunho tradicional, não há livros didáticos que proporcionem ao professor todos os conteúdos trabalhados. Para contornar esta situação, o autor elaborou o seu próprio material didático (APÊNDICE F). As fontes coletadas para a elaboração do material didático são as mesmas consultadas para a elaboração da Sequência Didática.

5. DETALHAMENTO DA INSERÇÃO DE TÓPICOS DE ASTROFÍSICA E COSMOLOGIA NAS AULAS DO 3º ANO DO ENSINO MÉDIO

A Sequência Didática foi utilizada no final do primeiro trimestre de 2014 para as turmas de 3º ano do Ensino Médio do período matutino. Como as turmas de 3º ano veem tradicionalmente conteúdos de Eletricidade nessa época do ano, e devido à necessidade de se ministrar a Sequência Didática em maio, pois a defesa do presente trabalho estava programada para final de agosto, houve a necessidade de se interromper o fluxo natural dos conteúdos para a realização das atividades.

Primeiramente, surge a necessidade de justificar o uso da Astronomia, da Astrofísica e da Cosmologia Moderna presentes na Sequência Didática. A parte onde a Astronomia está presente permite uma aproximação dos estudantes ao tema. Também começa a partir da Astronomia a ambientação do aluno no contexto espacial e temporal. Nesta parte, o estudante percebe que a Terra é ínfima diante de um universo imenso e que nosso tempo é ínfimo comparado à idade do universo. Já a Astrofísica articula os tópicos mais comuns da FMC vistos em aulas de Física com a espectroscopia astronômica. Na Cosmologia Moderna são vistas algumas dimensões epistemológicas, evidenciando a Física como uma ciência que está sempre sendo construída e o saber físico como algo que sempre está inacabado. Desta forma, são demonstrados o vigor e as limitações dos modelos físicos. Na Cosmologia Moderna, retoma-se a ambientação do aluno no contexto espacial e temporal do universo.

Para a realização da Sequência Didática, foram utilizadas quatro horas-aula de atividades e teorias e duas horas-aula para a avaliação, distribuídas em três semanas. Participaram efetivamente da Sequência Didática dezesseis alunos, com idades entre 17 e 20 anos: onze na primeira turma e cinco na segunda. O detalhamento da estrutura da Sequência Didática é apresentado na tabela a seguir:

Tabela 6 – Detalhamento da estrutura da Sequência Didática

Aula	Tema da aula	Atividades desenvolvidas	Materiais utilizado
1	Problematização com o Paradoxo de Olbers; Dimensões espaço-temporais Conceitos de constelação, galáxia, aglomerados	Atividade com o celular dos alunos. Projeção de animação e vídeo. Atividade com os alunos: paralaxe. Aula expositiva	Imagens contidas no livro de Comins e Kaufmann III (2010). Animação com vídeos. Celulares dos alunos e aparelhos com luz. Recursos multimídia
2	Introdução ao conceito da luz Espectro eletromagnético Modelo atômico de Bohr Átomo de hidrogênio Interação luz-matéria Espectroscopia astronômica	Aula expositiva. Atividade com os alunos: espectroscopia rudimentar com CDs e DVDs	CDs e DVDs. Recursos multimídia.
3	Diagrama H-R Redshift e Blueshift Expansão do universo Lei de Hubble	Aula expositiva. Atividade com os alunos: balões inflando.	Balões de látex. Recursos multimídia.
4	Universo sob o ponto de vista de Newton e de Einstein Radiação cósmica de fundo Isotropia e homogeneidade do universo Idade do universo Energia e matéria escura	Aula expositiva. Atividade com os alunos: superfície de borracha	Balões de látex. Recursos multimídia.
5	Avaliação	Alunos respondendo um questionário aberto	Não se aplica.
6	Avaliação	Alunos respondendo um questionário aberto	Não se aplica.

Fonte do autor

Aula 1: Paradoxo de Olbers

O objetivo principal é iniciar a discussão em sala de aula sobre a estrutura e a origem do universo com a apresentação de um conflito para o estudante: Como pode o universo ser infinito, contendo um número infinito de estrelas, se a consequência seria um céu noturno que brilhasse com a mesma intensidade que o Sol? Para tanto, foi realizada uma atividade utilizando os celulares dos alunos, além de recursos multimídias, como imagens e vídeos. Maiores detalhes estão disponíveis no Apêndice B. Esta aula tem como base a problematização sob o ponto de vista de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002). A pergunta inicial não será respondida nesse momento, somente ao final da Sequência Didática.

Aula 2: Escalas de distância e espectroscopia astronômica

Esta aula tem como objetivos dar bases observacionais aos estudantes no que diz respeito à Cosmologia Moderna. Foi apresentado aos estudantes como se calculam as distâncias astronômicas, desde objetos astronômicos mais próximos até os objetos mais distantes do universo. Em seguida, foram discutidos tópicos de espectroscopia astronômica e a conclusão de que os objetos distantes apresentam um maior *redshift* do que objetos mais próximos. Para abarcar o conceito de *redshift*, foi necessário revisar o conceito de efeito Doppler. Maiores detalhes estão disponíveis no Apêndice C.

Aula 3: Hipótese de Hubble e a isotropia e a homogeneidade do universo

A partir dos resultados interpretados a partir dos valores de *redshift* encontrado para objetos próximos e distantes, objetiva-se explicar sobre como Hubble inferiu que as galáxias estão se distanciando uma das outras, que é a própria expansão do próprio universo, levando ao aluno a concluir que o universo teve que ter uma origem. Foi discutido a constante de Hubble e como ela pode ser interpretada como uma medida do tempo de vida do universo. Também foi discutido sobre algumas propriedades do universo, como a isotropia e a homogeneidade do espaço. Maiores detalhes estão disponíveis no Apêndice D.

Aula 4: A teoria do Big Bang

Concluindo-se a Sequência Didática, foi evidenciada com os alunos a resolução do paradoxo de Olbers. Conectando o que foi visto anteriormente, o estudante poderá que a teoria do Big Bang fornece uma explicação para o aparente paradoxo e responder a outros dados observacionais. Maiores detalhes estão disponíveis no Apêndice E.

6. AVALIANDO A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Com o intuito de se conhecer o entendimento dos estudantes a respeito do conteúdo trabalhado na Sequência Didática e se houve alguma assimilação a respeito de seus conhecimentos físicos, foram realizados dois questionários, um Instrumento de Avaliação de Curso e um Instrumento de Avaliação de Conteúdo. De um universo de 66 estudantes das duas turmas, vinte alunos concordaram em responder o questionário ao entregar o Termo de Consentimento de Uso de Trabalho Escolar (APÊNDICE I) e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE J). Dos que concordaram em responder os questionários, 16 responderam efetivamente.

Os questionários foram aplicados nas duas últimas aulas destinadas à execução da Sequência Didática, no final de maio de 2014. Os questionários foram elaborados para atender a dois objetivos: observar a assimilação dos conhecimentos físicos vistos durante a realização das atividades e avaliar o grau de satisfação dos estudantes com a sequência ministrada. Os questionários foram aplicados de maneira espontânea, ou seja, não havia nenhuma obrigação quanto ao preenchimento dos questionários, refletido na ausência de nota atribuída. Dessa forma, tentava-se evitar uma distorção em suas respostas.

A identificação do aluno não era obrigatória. O Instrumento de Avaliação de Curso foi construído com seis questões abertas. Metade do questionário abarcava questões que estavam relacionadas com o conhecimento científico e objetivavam buscar o grau de compreensão de que os estudantes faziam a respeito do conteúdo visto. A outra metade buscava compreender a relação do conteúdo visto com suas experiências pessoais e como estas se relacionavam com a ciência e como esta se relacionava com o seu dia-a-dia. Já o Instrumento de Avaliação de Conteúdo foi construído com onze questões fechadas, do tipo múltipla escolha com uma alternativa correta, e uma questão dissertativa.

A partir da leitura das respostas dos estudantes, percebeu-se que havia ali uma gama muito ampla de respostas ricas. No Instrumento de Avaliação de Curso, todas as questões traziam oito pautas de espaço e boa parte dos alunos respondentes preencheu quase todo o espaço disponível. Isso significa que, no momento da análise, foram analisadas desde frases bem simples até textos

completos. Já a questão dissertativa tinha 15 pautas de espaço. Os questionários respondidos receberam uma identificação numérica, começando do questionário 1 até o questionário 16. Os questionários estão disponíveis nos Apêndices G e H.

Além dos questionários, foi utilizado um Diário de Campo, que é basicamente um instrumento utilizado para registrar ou anotar dados que são passíveis de serem analisados. Portanto, o Diário de Campo é uma ferramenta que permite organizar as experiências para posteriormente analisar os resultados (FALKEMBACH, 1987).

No Diário de Campo foram incluídas ideias e frases ditas pelos estudantes. O objetivo é apontar no diário aquilo que se observa ao longo do processo de pesquisa para depois analisar e estudar. Os apontamentos realizados no Diário de Campo não têm necessariamente de retratar a realidade em si, mas antes a realidade vista na visão do pesquisador, levando em conta todas as suas percepções. Como consequência, existe certo grau de subjetividade (FALKEMBACH, 1987). O diário de campo foi dividido em duas colunas. De um lado, foi anotado tudo o que diz respeito às observações realizadas. No outro lado, foram anotadas as impressões ou conclusões do autor.

6.1 USANDO A ANÁLISE DE CONTEÚDO DE BARDIN COMO TÉCNICA DE ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS ESTUDANTES

Com todo o material disponível, a metodologia mais viável para analisar as respostas fornecidas pelos estudantes é a Análise de Conteúdo de Laurence Bardin (BARDIN, 2009). Preferiu-se a Análise de Conteúdo, pois o instrumento de coleta de dados era composto inteiramente por questões abertas. Por natureza, as questões abertas podem fornecer uma grande amplitude de respostas e a Análise de Conteúdo pode revelar detalhes e características de cunho não apenas qualitativo, mas também quantitativo. Dessa forma, torna-se possível desenvolver conclusões e interpretações de grande interesse a respeito dos materiais analisados.

Bardin define a Análise de Conteúdo como:

“Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens indicadores (quantitativos ou não) que permitem a inferência de

conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens” (BARDIN, 2009).

Bardin oferece variadas técnicas de análise de conteúdo. Dentre estas, escolheu-se pela Análise Categorial, pois essa técnica se adapta melhor à espécie dos dados disponíveis. Segundo Bardin, essa técnica é uma das mais clássicas e utilizadas dentre todas as técnicas de Análise de Conteúdo e:

“funciona por operações de desmembramento do texto em unidades, em categorias segundo reagrupamentos analógicos” (BARDIN, 2009)

A técnica da Análise Categorial possui três fases: a Descrição, a Inferência e a Interpretação.

A primeira fase, a Descrição, é basicamente uma listagem de todas as características presentes no texto. Essa listagem é observada após uma análise minuciosa do instrumento de avaliação e dessa listagem acaba surgindo certas categorias. A segunda fase, a Inferência, é uma conclusão, uma dedução realizada com base na descrição dos conhecimentos dados pelo emissor das mensagens ou sobre o seu meio em torno. A terceira fase, a Interpretação, é a atribuição de significados que são doados a essas características emergidas a partir da listagem e da dedução.

Como o instrumento de coleta de dados oferece ao estudante a resposta às questões abertas propostas por meio de um discurso direto, escolheu-se também a Análise Temática. De acordo com Bardin,

“Entre as diferentes possibilidades de categorização, a investigação dos temas, ou *análise temática*, é rápida e eficaz na condição de se aplicar a discursos diretos (significações manifestas) e simples” (BARDIN, 2009).

Através da Análise Temática, de posse das categorias que surgiram durante o processo de descrição, é possível verificar o surgimento de temas nos quais é perfeitamente realizável o agrupamento dos conhecimentos doados pelos emissores. Com os temas, é possível formar uma estrutura lógica que permite a análise sucinta de todo o material disponível, além da interpretação dos conhecimentos fornecidos pelos estudantes através do Instrumento de Coleta de Dados.

6.2 ANÁLISE DO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE CURSO E DAS DECLARAÇÕES OBTIDAS POR MEIO DE DIÁRIO DE CAMPO

Em cada questão do instrumento de avaliação de curso, foi aplicada a técnica de Análise de Conteúdo de Bardin. O objetivo era buscar em cada questão as categorias de análise. Cada questão gerou algumas categorias, embora ao se analisar as questões coletivamente, havia a sobreposição de diversas categorias, isto é, categorias que surgiram em algumas questões também surgiram em outras. Talvez isso se deva à repetição realizada por alguns estudantes de respostas em mais de uma questão.

Tendo isso em vista, escolheu-se observar as categorias que surgiram tendo em consideração o questionário como um todo. As questões 1, 2 e 5 foram as mais significativas levando em consideração as categorias, mas isso não significa que as questões 3, 4 e 6 possam ser desprezadas. Isso significa apenas que, nessas últimas questões, havia elementos que também apareciam nas primeiras questões.

Enunciando as questões 1, 2 e 5:

1) As atividades realizadas sobre Astrofísica e Cosmologia nessas semanas modificaram de alguma forma o que você pensa a respeito do universo?

a) Se por acaso sua resposta for afirmativa a essa questão, o que mudou para você? Consegue fornecer alguns exemplos?

b) Se por acaso sua resposta for negativa, talvez seja por que você já sabia de alguns conteúdos passados aqui. Diga com exemplos quais os conteúdos expostos aqui você já tinha conhecimento.

2) Falando de modo mais amplo, considerando as atividades realizadas sobre Astrofísica e Cosmologia, essas atividades realizaram alguma contribuição a cerca de seus conhecimentos sobre a Física em geral ou sobre alguma Ciência Natural?

5) Falando sobre suas experiências pessoais, essas atividades sobre Astrofísica e Cosmologia trouxeram alguma contribuição relevante para sua vida? Pode esboçar alguns exemplos?

Considerando as questões enunciadas acima, durante a análise surgiram quatro categorias:

- *Ampliação do entendimento do universo* – nessa categoria estão agrupadas as respostas que os estudantes forneceram, falando principalmente de como o conceito de universo, dentro de suas mentalidades, ficou mais robusto e embasado, ficando mais complexo e intrincando do que antes.
- *Interesse e curiosidade científica* - nessa categoria estão agrupadas as respostas que os estudantes forneceram a respeito de como seu interesse por Astrofísica e Cosmologia Moderna, e como consequência pela própria Física e pela astronomia, se intensificou.
- *Evolução da maneira de observar o espaço em seu torno* - nessa categoria estão agrupadas as respostas que os estudantes forneceram a respeito de como os estudantes passaram a observar de forma diferenciada fenômenos que antes passavam despercebidos ou não entendidos, encarando a realidade de uma forma mais racional e buscando o entendimento de questões não resolvidas de uma forma mais científica.
- *Entendimento mais crítico da ciência* - nessa categoria estão agrupadas as respostas que os estudantes forneceram a respeito de um olhar mais crítico para o trabalho científico, entendendo que a ciência se respalda no uso dos modelos científicos.

6.2.1 A ampliação do entendimento do universo

Essa categoria aparece em seis dos dezesseis questionários respondidos. Sua essência se baseia principalmente de como o conceito de universo, dentro da mentalidade dos estudantes, ficou mais robusto e embasado, ficando mais complexo e intrincando do que antes. Dentro dessa categoria, é possível observar três outras subcategorias.

- *Grande mudança no entendimento do universo* – esses estudantes demonstraram em suas respostas que a atividade lhes proporcionou, talvez, uma grande mudança conceitual a respeito do universo. Isso é evidenciado em respostas como:

“O universo é muito, muito imenso. Sou apenas um pontinho nessa imensidão toda. Agora percebo a complexidade do espaço ao meu redor.” (A10)

“Acho que agora, sabendo sobre o Universo, posso entender outras coisas, inclusive aquelas que estão relacionadas com a vida.” (A11)

“Nós não somos os únicos a viver nesse universo, possivelmente.” (A2)

“Agora percebo que meu mundo e o universo com mais detalhes. Acho que entendi como funciona o universo, pelo menos um pouquinho.” (A7)

- *Entendimento das escalas astronômicas envolvidas* - esses estudantes demonstraram em suas respostas que a atividade lhes proporcionou, talvez, um entendimento um pouco maior das grandes distâncias envolvidas quando se fala de universo. Isso é evidenciado em respostas como:

“Eu não sabia ver uma coisa muito grande e outra coisa muito pequena, mas agora vejo que distâncias como ano-luz são realmente muito grandes e que nanômetros são realmente muito pequenos.” (A9)

“O universo é gigantesco.” (A5)

“Somos poeira comparados ao universo” (A7)

“Essa atividade me ajudou a perceber melhor a diferença de coisas pequenas e coisas grandes, e também me ajudou a ver quantas e quantas coisas existem no universo.” (A4)

6.2.2 Interesse e curiosidade científica

Essa categoria também aparece em seis dos dezesseis questionários. Sua essência se baseia principalmente de como as atividades desenvolvidas influenciaram no interesse dos estudantes, especialmente no que diz respeito à Física e a Astronomia. Seguem-se abaixo algumas respostas:

“Eu já gostava de ciências, mas estudando o universo me fez abrir a cabeça para outras possibilidades. Agora eu gosto ainda mais de estudar ciências.” (A13)

“Acho que agora eu gosto um pouco de Astronomia. Semana passada eu passei por uma banca de jornal na rua XV e tinha

muitas revistas sobre ciências lá. Nunca tinha reparado nisso antes.” (A11)

“Odiava física, mas agora presto atenção em coisas da internet que não prestava antes.” (A9)

Alguns relatos falam especificamente sobre como a Astronomia despertou o seu interesse pela ciência:

“Não tinha noção nenhuma sobre o céu, mas agora quero visitar o observatório lá de Campo Magro.” (A4)

“Quanto um astrônomo ganha? Vou cogitar a hipótese de trabalhar nisso.” (A1)

Outros argumentam como agora eles têm uma visão mais aberta, onde o modo de pensar científico começou a ser incluído:

“Sou religiosa e não acredito no Big Bang. Vou pensar em alguma alternativa científica.” (A4)

“Cada vez que vejo o roteador de wi-fi de casa, penso em ondas.” (10)

6.2.3 Evolução da maneira de observar o espaço em seu torno

Essa categoria aparece em catorze dos dezesseis questionários. Esta categoria revela que os estudantes, após a atividade proposta, tiveram alguma mudança de posicionamento frente aos fenômenos do cotidiano. Seguem-se abaixo algumas respostas:

“Eu era uma pessoa que sabia pouca coisa a respeito do universo. Agora eu sei mais.” (A3)

“Vejo as coisas de um jeito diferente. Antes não sabia como explicar a luz, mas agora sei que ela é às vezes bolinha e às vezes onda.” (A8)

“Aprendi muito sobre o universo.” (A13)

Há estudantes que comentaram que a atividade proporcionada auxiliou em seu pensamento racional:

“Tenho que ser um pouco mais questionadora. Talvez isso me ajude mais pra frente.” (A7)

“Antes eu acreditava em tudo o que falavam na internet. Agora acredito menos e busco mais as fontes. Tenho que pensar como a ciência, tentando entender as coisas de um jeito mais racional e com provas.” (A8)

“Achava que Astrologia e Astronomia eram tudo a mesma coisa”. (A2)

E ainda há aqueles que compreendem que é necessária uma teoria científica por trás das explicações dos fenômenos observados:

“Achava que teoria era baboseira. Agora vejo que não é.” (A13)

“Consigo enxergar as conexões e os modelos científicos vistos durante as atividades.” (A9)

Já outros afirmam que podem explicar os fenômenos cotidianos usando o conhecimento obtido durante o andamento da Sequência Didática:

“Não sabia de que eram formadas as estrelas e as galáxias, mas agora tenho uma ideia.” (A12)

“Consigo sim explicar para meus pais, fisicamente falando, do que são feitos as estrelas.” (A9)

“Antes nada disso significava nada pra mim. Agora eu sei o porquê de o arco-íris existir.” (A16)

6.2.4 Entendimento mais crítico da ciência

Essa categoria aparece em doze dos dezesseis questionários respondidos. Sua essência se baseia no fato de que a atividade proposta rendeu uma melhor compreensão do trabalho realizado pela ciência e pelos cientistas. Seguem abaixo algumas respostas dadas:

“Cada cientista tinha o seu modo de pensar, dependendo da época.” (A9)

“Ser cientista é como ser de qualquer outra profissão.” (A15)

“Tem mais coisas do que só laboratórios e máquinas.” (A8)

Alguns estudantes reconheceram que a ciência é algo mais profundo:

“Sempre pensei que os cientistas estavam sempre certos. Seu trabalho é explicar as coisas em nossa volta, mas nem sempre eles têm provas e muitas vezes trabalham com especulações.” (A3)

“Modelo é apenas uma representação da realidade.” (A2)

Um estudante evidenciou uma grande mudança em relação a crenças ou ‘verdades’:

“Acho que posso colocar na parede as pessoas que se dizem donas da verdade.” (A1)

6.3 ANÁLISE DO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE CONTEÚDO

O instrumento de avaliação de conteúdo possui, ao todo, doze questões, sendo onze de natureza objetiva e uma de natureza dissertativa. Ao todo, dezesseis estudantes responderam esse questionário. Para análise do Instrumento de avaliação de conteúdo, utilizaram-se ferramentas de análise quantitativa e a Análise de Conteúdo de Bardin para a análise da questão dissertativa.

As questões objetivas eram de múltipla escolha, com cinco alternativas cada, sendo que apenas uma alternativa estava correta. O grau de acertos geral foi de 66,7%. A tabela 7 apresenta o índice de erros e acertos por questão.

Tabela 7 – Índice de erros e acertos no Instrumento de Avaliação de Conteúdo (continua).

Questão	Acertos	Erros
1	10	6
2	8	8
3	16	0
4	15	1
5	15	1
6	9	7
7	15	1
8	13	3
9	12	4
10	10	6
11	9	7

Fonte do autor

Ao se comparar as questões objetivas com a questão dissertativa, os estudantes se saíram melhores nessa primeira parte. Para descartar qualquer eventualidade de as respostas fornecidas pelos estudantes serem apenas uma anomalia de avaliação, buscou-se relações entre o desempenho dos estudantes na parte objetiva com o desempenho desses estudantes comparando-se o questionário como um todo. Observou-se uma relação entre o desempenho dos estudantes na parte objetiva e na parte dissertativa. Quem se saiu melhor na parte objetiva também

se saiu melhor na parte dissertativa. Ao se analisar os dados, chegou-se à conclusão que a parte objetiva poderia ser realmente utilizada como instrumento avaliador do desempenho do estudante.

Os resultados da questão dissertativa apresentaram diversas redundâncias com o questionário de avaliação de curso. Analisando quantitativamente o número de acertos e erros foi possível estabelecer três grupos homogêneos de estudantes: o primeiro grupo apresenta um desempenho regular, acertando apenas metade das questões; o segundo grupo acertou sete ou oito questões e o terceiro acertou todas as questões objetivas.

A questão 3 foi aquela que teve o maior índice de acertos, e versava sobre qual seria o melhor método da análise da distância que separa a Terra até a estrela *Proxima Centauri*. Mais de 90% dos estudantes afirmaram que a paralaxe seria o melhor método de estimar essa distância. Isso indica que houve uma boa consolidação do conteúdo quando se tratou das escalas de distâncias astronômica. Logo em seguida, a questão com o maior índice de acertos foi a questão 5, que versava sobre o conceito de desvio para o vermelho (*redshift*) e sua relação com a velocidade de afastamento das galáxias. Os estudantes mostraram uma boa assimilação com o conceito e com o efeito Doppler. A questão 10 relacionava a separação das cores vistas em um CD ou em um DVD com a espectroscopia, e o número de acertos indica uma boa assimilação desse conteúdo. A questão 4 buscava problematizar a teoria do Big Bang, trazendo consigo o trabalho científico. O grande índice de acertos nessa questão evidencia que o trabalho científico foi bem trabalhado durante a Sequência Didática.

Entretanto, a questão 6 foi a questão que teve o menor índice de acertos. Essa questão estava associada à velocidade da luz e suas implicações e imposições. Para problematizar a questão, foi sugerido se existe alguma interferência do vácuo para a constância da velocidade da luz. Percebeu-se que os alunos confundiram ondas eletromagnéticas com ondas mecânicas em relação às comunicações via rádio. A questão 2 também teve um grande índice de erros. Já era de se esperar esse resultado, pois pedia a interpretação de um diagrama HR e a análise da relação massa-luminosidade. Acredita-se que os alunos tenham uma grande deficiência na interpretação de gráficos. Também houve um grande número de erros na questão 7, que trata da obtenção de energia a partir da fusão nuclear.

Quanto à questão dissertativa, seu enunciado era: “Faça um texto de aproximadamente 15 linhas sobre tudo que você considera importante ou que seja de proveito pessoal sobre o que foi estudado nessas aulas de *Astrofísica e de Cosmologia*”. A intenção dessa questão era instigar no estudante um resumo dos conteúdos vistos durante a apresentação da Sequencia Didática proposta, além de reconhecer algumas relações com o cotidiano e com fenômenos físicos ao seu redor e algumas extrapolações que poderiam ser feitas.

No levantamento das categorias, chegou-se às mesmas categorias alcançadas na análise do Instrumento de Avaliação de Conteúdo. Porém, vale ressaltar o surgimento de uma quinta categoria, chamada aqui de *Percepção do conhecimento*, que refletia a apropriação dos conteúdos realizados pelos estudantes nas questões objetivas. Estes estudantes realizaram conexões entre os conteúdos, relacionando teoria com prática e conectando as informações que provinham de modelos científicos.

“Dentre tudo que estudei, achei muito interessante o estudo das cores. Agora eu sei como funciona um arco-íris e que é bem diferente dos conceitos de cores primárias e secundárias, fisicamente falando. Podemos até deduzir se uma estrela é quente ou fria só analisando a sua cor.” (A4)

“Achei interessante o redshift e o blueshift e o espectro das cores, que permitem obter informações de uma estrela ou de uma galáxia.” (A4)

“A espectroscopia foi a parte que mais me atraiu. Podemos saber do que são feitas as estrelas somente analisando suas cores.” (A15)

“Não sabia que os cientistas tinham descobertos métodos interessantes de descobrir de como são feitas as estrelas. A parte mais interessante foi a do redshift, que foi possível saber que o universo está em expansão.” (A10)

“Há duas explicações para a gravidade, uma de Newton, que é a mais velha, e outra de Einstein, que é a mais nova.” (A7)

6.4 ANALISANDO CONJUNTAMENTE O INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE CURSO E O INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE CONTEÚDO

Consta-se que catorze dos dezesseis respondentes responderem afirmativamente a questão “*As atividades realizadas sobre Astrofísica e Cosmologia nessas semanas modificaram de alguma forma o que você pensa a respeito do universo?*” O fato de a grande maioria dos estudantes responderem afirmativamente a essa questão indica que está relacionada com o desempenho no Instrumento de Avaliação de Conteúdo. É possível relacionar, também, esses resultados com o grande índice de acertos nas questões 4, 5 e 10.

A categoria “*Grande mudança no entendimento do universo*” aparece em seis dos dezesseis questionários e também é citado em um terço dos questionários do Instrumento de Avaliação de Conteúdo. Isso pode estar relacionado com o alto grau de acertos das questões 4 e 5, que discutiam, respectivamente, a escala de distâncias astronômicas e o desvio para o vermelho. Cinco dos dezesseis questionários do Instrumento de Avaliação de Conteúdo, na parte dissertativa, trazia alguma menção da escala de distâncias astronômicas e do desvio para o vermelho.

A categoria “*Evolução da maneira de observar o espaço em seu torno*” está presente em catorze dos dezesseis questionários do Instrumento de Avaliação de Curso, mas está presente apenas em dois dos dezesseis questionários do Instrumento de Avaliação de Conteúdo. Nesses questionários, os estudantes relacionavam as cores vistas em CD e DVDs e nos arco-íris com a separação dos diversos comprimentos de onda da luz branca e com a espectroscopia astronômica.

Já a categoria “*Entendimento mais crítico da ciência*” está presente em doze dos dezesseis questionários do Instrumento de Avaliação do Curso e em cinco dos dezesseis questionários do Instrumento de Avaliação do Conteúdo. O assunto recorrente nessa categoria na questão dissertativa foi nas características da Teoria do Big Bang relacionadas com o trabalho científico.

Por outro lado, os estudantes que não tiveram um bom desempenho nas questões objetivas do Instrumento de Avaliação de Conteúdo também tiveram um mau desempenho na questão dissertativa, evidenciada pela falta de argumentos desses estudantes. Dois alunos deixaram esta questão em branco. Além disso, em

nenhum questionário apareceu qualquer menção sobre ondas eletromagnéticas ou velocidade da luz, mantendo uma relação íntima com o grande número de erros cometidos pelos estudantes na questão objetiva correspondente. O mesmo aconteceu em relação ao diagrama HR e a relação massa-luminosidade.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 ESTADO DA ARTE SOBRE O ENSINO DE COSMOLOGIA NO BRASIL

Analisou-se que, nos trabalhos que abordam o Ensino de Cosmologia, a própria Cosmologia Moderna fica em segundo plano, comparando aos diferentes objetivos dos autores. A Cosmologia Moderna não passa de um tema norteador ou motivador para trabalhos que buscam como foco principal a inserção da História e da Filosofia da Ciência e a Natureza da Ciência, além de discussões sobre Ciência e Religião. Poucos abordam a Cosmologia Moderna como um tema próprio dentro das aulas de Física e conseguem atrelá-la à Física Moderna e Contemporânea.

7.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Levando em consideração os resultados analisados, fornecidos pelos estudantes através do Instrumento de Coleta de Dados e pelo Diário de Bordo, é possível concluir que algumas das metas objetivadas pela Sequência Didática foram atingidas. Dentre essas metas, pode-se destacar o surgimento de competências e habilidades por parte dos estudantes levando-se em conta o conteúdo e a visão histórica, uma consolidação ou surgimento de conceitos e visões acerca do universo e alguns indícios que apontam a integração da Astrofísica e da Cosmologia com a Física Moderna e Contemporânea.

As habilidades e competências que estavam sendo contempladas na Sequência Didática proposta foram refletidas, ao menos parcialmente, pelas respostas fornecidas pelos estudantes. A visão histórica contida dentro da Sequência Didática tinha como objetivo levar o estudante a compreender que a ciência contém aspectos humanos e está sempre em construção. Ao se analisar a resposta dos estudantes, percebe-se que essa visão histórica proposta foi compreendida por parte dos alunos.

O surgimento da categoria *Entendimento mais crítico da ciência* significa que uma das proposições dadas pelos PCN

“Reconhecer a Física enquanto construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico” (BRASIL, 2000, pg. 29).

está sendo atendida. Percebe-se que certos estudantes, ao se analisar suas respostas ou afirmativas, tiveram, pelo menos parcialmente, sua visão de mundo alterada quanto a algumas crenças ou verdades. Essa competência evidenciada pelo PCN também abarca a história dos conceitos físicos e a utilização de modelos científicos. Isso também foi abordado pelos estudantes através das variadas respostas, cujo conteúdo trazia algumas desinformações a respeito da utilização de modelos e teorias científicas.

Também se alcançou conclusões a respeito do trabalho científico e dos cientistas. De acordo com a resposta dos estudantes, a Sequência Didática revelou a eles um olhar mais crítico a respeito da ciência. Os alunos também tiveram algumas mudanças de visão quando se trata dos fenômenos físicos que estão presentes em seu cotidiano. Na categoria *Evolução da maneira de observar o espaço em seu torno*, os alunos revelaram que houve, de fato, a apreensão do conteúdo proposto, que a lógica e o raciocínio começaram a sobrepujar crenças e superstições, que fenômenos físicos corriqueiros são explicados por teorias científicas e que a realidade passou a ser observada de uma forma mais científica e crítica. Pode-se condensar essas subcategorias em uma única ideia, onde a Sequência didática proveu aos estudantes uma mudança, ao menos parcial, de se relacionar com a realidade ao entorno, tendo agora uma visão mais científica e cética a respeito do universo e de seu espaço em torno, ao utilizarem alguns conceitos físicos para explicar seu cotidiano.

Ao se analisar detalhadamente a categoria *Grande mudança no entendimento do universo*, podemos associar algumas competências fornecidas pelos PCN:

“Compreender a Física presente no mundo vivencial e nos equipamentos e procedimentos tecnológicos.” (BRASIL, 2000, p.29).

“Construir e investigar situações-problema, identificar a situação física, utilizar modelos físicos, generalizar de uma a outra situação, prever, avaliar, analisar previsões” (BRASIL, 2000, pg. 29).

“Compreender enunciados que envolvam código e símbolos físicos” (BRASIL, 2000, p. 29).

As respostas dos estudantes sugerem que eles buscam explicar os fenômenos ocorridos ao seu redor com elementos observados durante a ministração da Sequência Didática.

Desde o início, pretendeu-se expor aos estudantes uma visão cosmológica e científica a respeito do universo por meio de uma Sequência Didática. A aparição de respostas coerentes com a proposta torna evidente que os estudantes estão agora mais situados do que antes a respeito da imensidão do universo e de nossa pequenez diante das imensas dimensões. Isso é condizente com a competência sugerida pelo PCN+,

“será indispensável uma compreensão de natureza cosmológica, permitindo ao jovem refletir sobre sua presença e seu “lugar” na história do universo, tanto no tempo como no espaço, do ponto de vista da ciência” (BRASIL, 2002).

Conclui-se que a Sequência Didática tenha causado impactos diretos em boa parte dos estudantes a respeito de sua visão e localização no universo onde vivemos. Cerca de 80 % dos estudantes que responderam ao questionário responderam afirmativamente à questão “*As atividades realizadas sobre Astrofísica e Cosmologia nessas semanas modificaram de alguma forma o que você pensa a respeito do universo?*” Várias declarações dadas pelos estudantes também apontam para essa conclusão. Torna-se evidente que os estudantes possuem uma percepção maior a respeito das escalas astronômicas de distâncias. Outros estudantes ainda afirmam que suas visões de como o universo funciona mudaram radicalmente.

Nunca foi um objetivo da Sequência Didática proposta estabelecer um conteúdo aprofundado para os estudantes. Porém, uma das intenções era estabelecer uma relação de equilíbrio entre alguns conteúdos que foram mais aprofundados e outros que foram abordados de forma superficial. Desta forma, pretendia-se evidenciar aos estudantes que as teorias científicas envolvidas não estavam isoladas, mas estavam interconectadas.

No questionário de avaliação de conteúdos, percebeu-se que os estudantes buscavam realizar algumas conexões entre os variados conteúdos, além de realizar conexões entre a teoria e a prática e conexões entre as informações que podiam ser destiladas a partir dos modelos científicos. Nesse questionário, a questão dissertativa foi de grande importância para a análise de certas conclusões. Sem que

fosse pedido aos estudantes, nessa questão, comentários pessoais, mesmo assim em algumas das respostas, foram evidenciados alguns comentários que exprimiam a fascinação desses estudantes em relação aos conteúdos obtidos. Nessa questão, também foram evidenciadas algumas maneiras onde os alunos puderam reacionar os conteúdos vistos durante a proposta com conceitos vistos no cotidiano.

Dessa forma, observou-se uma integração dos conceitos vistos com o cotidiano. Essa integração é uma das recomendações básicas dos PCN. Os documentos oficiais indicam que é necessária uma grande mudança quando se trata da educação em ciências, pois

“é preciso discutir qual Física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e uma formação para a cidadania mais adequada” (BRASIL, 2000).

Na avaliação da Sequência Didática realizada entre os estudantes, dez dos dezesseis estudantes afirmaram que a Sequência Didática proporcionou algo de positivo em suas vidas. Tendo em vista a categoria *Interesse e curiosidade científica*, surge uma questão indicativa: será que a Astrofísica e a Cosmologia deve ser contemplada no Ensino Médio? De acordo com a resposta fornecida pelos estudantes, a resposta para essa questão é um grande sim. Sob o ponto de vista do autor, aplicar a Sequência Didática foi extremamente satisfatória, pois em raras vezes se viu tanto envolvimento dos estudantes. Faz-se necessário a introdução de tópicos de Astrofísica e Cosmologia Moderna nas aulas de Física e esta Sequência Didática foi contundente ao afirmar que também é possível para o professor ministrar conteúdos de Astrofísica e Cosmologia Moderna.

Ao se analisar as respostas fornecidas pelos estudantes surge outra questão: é possível que a visão dos estudantes a respeito da disciplina de Física no Ensino Médio possa mudar para melhor? A resposta é outro grande sim. Já é uma normalidade para o professor de Física escutar por parte dos estudantes que a disciplina de Física é uma das “piores” disciplinas para se estudar no Ensino Médio, pois exige muita matemática, deixando os conceitos e uma abrangente e contextualizada visão de mundo físico um pouco de lado. Acredita-se que a Sequência Didática contribuiu, de alguma forma, para uma mudança de visão a respeito. Além disso, provavelmente a Sequência Didática proposta será o único

contato que os estudantes terão com Astrofísica e Cosmologia em toda a sua vida estudantil.

Porém, a proposta não vive apenas de rosas e flores. É possível encontrar várias dificuldades em relação aos conceitos e suas aplicações. Alguns estudantes não tiveram o desempenho esperado no questionário de verificação de conteúdos. Notou-se que alguns estudantes erraram perguntas simples e que a falta do estabelecimento dos conteúdos tiveram como consequência uma falta de argumentação nas questões dissertativas. As respostas às questões que versavam a respeito do diagrama H-R e fusão nuclear foram um verdadeiro desastre. Ao se conhecer tais deficiências, pode-se refletir a respeito do verdadeiro motivo dessas dificuldades de aprendizagem. A partir da análise destas dificuldades, podem ser geradas algumas alternativas educacionais que podem solucionar tais dificuldades ou ao menos diminuí-las.

A Sequência Didática não possui a intenção de apresentar uma proposta de mudança no currículo escolar, pois está amparada nas orientações fornecidas pelos PCN+ (BRASIL, 2002). Porém, ela chama a atenção para o grau de liberdade e de autonomia do professor de Física, transgredindo o currículo do senso comum, amplamente apoiado no currículo dos livros didáticos tradicionais, que, por sua vez, é apenas uma imagem do currículo dos livros-textos comumente usados em ciclos básicos de cursos superiores de exatas. O autor desse trabalho acredita que, se ocorrer uma mudança dos currículos nas escolas, primeiramente é necessário prestar atenção na formação inicial dos professores. Porém, acredita-se que a inserção de elementos trazidos da Física Moderna e Contemporânea, assim como toda modificação do currículo escolar podem ser concretizados a partir da confecção de projetos, artigos para eventos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses e artigos de revistas especializadas, mas estes não são as únicas ferramentas, pois a concretização desses objetivos passa primeiramente pela formação inicial dada aos professores, além da confecção de propostas firmes de cunho político que visa a formação continuada de professores nas redes públicas e particulares. Essas propostas políticas podem se basear nas informações trazidas pelos materiais científicos produzidos e por experiências já concretizadas, como exemplificadas no referencial teórico deste trabalho. Porém, tais mudanças não devem remover a

autonomia do professor perante a sua classe, pois se isso ocorrer, perde-se a essência da educação: o diálogo horizontal entre o professor e o estudante.

Também se deve comentar a respeito dos materiais didáticos disponíveis, como os livros didático e materiais condensados em apostilas (sistemas didáticos confeccionados pelas editoras). Esses materiais praticamente não apresentam tópicos de Astrofísica e de Cosmologia Moderna. Quando apresentam, estão confinados a um apêndice ou a uma caixa de texto. Os materiais didáticos acabam se tornando, infelizmente, um guia muito firme quanto à formulação de propostas de ensino de Física para o professor. Por isso, além da educação inicial e continuada, deve-se priorizar também uma necessária reforma nesses materiais didáticos. De fato, programas como o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) possui uma grande importância na escolha dos conteúdos nesses materiais didáticos e tem a grande potencialidade na inserção de, por exemplo, tópicos de Física Moderna e Contemporânea e elementos de Astrofísica e Cosmologia, como recomendam os PCN.

O autor deste trabalho propõe pensar continuidades para essa proposta, como construir uma unidade didática que abarque os três anos do Ensino Médio, abordado como tema norteador conteúdos de Astronomia, Astrofísica e Cosmologia para os principais tópicos de Física vistos durante a educação média.

Dessa forma, o autor conclui que as maneiras herdadas de se ensinar e estudar a natureza devem ser constantemente refletidas, e a Sequência Didática permitiu aos estudantes um contato com um tema praticamente não visto em salas de aula isso. Isso também enfatiza a autonomia do professor em sala de aula: seu planejamento não deve ser pautado exclusivamente no currículo dos livros didáticos. O autor ainda enfatiza a importância de se inserir esses temas em sala de aula, e não na realização de atividades não-formais, exterior às salas de aula, pois, por meio das aulas, é possível contextualizar de forma constante os conhecimentos em função das necessidades da sociedade. Além disso, busca-se evitar a separação entre a teoria e a prática, assim como se evita se separar aquele que executa e aquele que teoriza, buscando integrar uma educação que, em geral, é ambígua, separando da educação ampla uma educação vocacional, voltada para o mercado de trabalho. Ao se inserir tópicos de Astrofísica e de Cosmologia Moderna, evitou-se compartimentar os conteúdos, separando-os em disciplinas diferentes, mas buscou-

se a realização das atividades de uma forma interdisciplinar sempre que possível. Somente assim, pode-se democratizar o conhecimento científico e tecnológico. Ela deve ser difundida, mas também deve interagir com as atividades corriqueiras dos estudantes e de sua comunidade de uma maneira profundamente crítica.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Ricardo R. **Tópicos de Astrofísica e Cosmologia: Uma Aplicação de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**. 2010. 203 p. Dissertação. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

ANDRADE, Rodrigo R. D.; NASCIMENTO, Roberto S.; GERMANO, Marcelo G.. Influências da Física Moderna na obra de Salvador Dalí. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 3: p. 400-423, dez. 2007.

ARRIASSECQ, Irene; GRECA, Ileana María. Introducción de la Teoría de la Relatividad Especial em el nivel médio/polimodal de enseñanza: identificación de teoremas – em-acto y determinación de objetivos-obstáculo. **Investigação no Ensino de Ciências**, v.11 n. 2. 2006

ARRUDA, Sérgio. M.; TOGINHO FILHO, Dari O. Laboratório Caseiro de Física Moderna. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, vol. 21, edição especial, 2004.

BAILEY, Janelle M. et al. A Multi-Institucional Investigation of Students' Preinstructional Ideas About Cosmology. **Astronomy Education Review**, v.11 n. 1. Dec. 2012

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. 4ª ed. Lisboa. Edições 70, 2009.

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

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

BRETONES, Paulo Sergio; MEGID NETO, Jorge. Tendências de Teses e Dissertações sobre Educação em Astronomia no Brasil. **Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira**, v. 24, n. 2, p. 35-43, 2005.

Disponível

em: <http://www.paulobretones.com.br/Artigo%20SAB%20v24_n2_2005_Bretones-Megid.doc>. Acesso em 01 fev. 2014

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna? **Investigação no**

Ensino de Ciências, v.10 n. 3. 2005.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane R. C. Uma Oficina de Física Moderna que vise a sua Inserção no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, vol. 21, edição especial, 2004.

CHIARELLI, Rogério A. **Física moderna e contemporânea no Brasil: É possível abordar conceitos de mecânica quântica?**. 2006. 178f. Dissertação (Mestrado em Física) Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

DIONÍSIO, Paulo Henrique. Albert Einstein e a Física Quântica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 2: p. 147-164, ago. 2005.

FALKEMBACH, E. M. F. Diário de Campo: um instrumento de reflexão. **Revista Contexto/Educação**. Ijuí, Unijuí, v. 7, 1987.

FANARO M. A. ARLEGO, M. e OTERO, M. R. El método de caminos múltiples de Feynman como referencia para introducir Los conceptos fundamentales de La Mecánica cuántica en la escuela secundaria. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 2: p. 233-260, ago. 2007.

FELD S., Ramissés et al.. Concepções e expectativas de estudantes de ensino médio sobre a inserção de tópicos de astronomia na disciplina de Física. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 20, São Paulo. **Anais do XX Simpósio Nacional de Ensino de Física-O ENSINO DE FÍSICA NOS ÚLTIMOS 40 ANOS: BALANÇO, DESAFIOS E PERSPECTIVAS**, 2013.

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

GRECA, Ileana. M.; HERSCAVITZ, Victoria. E.; Superposição Linear em ensino de Mecânica Quântica. **Revista ABRAPEC**, v. 5, n. 1: p. 61-77, abr. 2005.

_____. **Construindo significados em mecânica quântica**: resultados de uma proposta didática aplicada a estudantes de física geral. 2000. 248f. Tese (Doutorado em Ciências) Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

GOUVEIA, B. B. A caminho da aprendizagem. **Revista Nova Escola**, p. 66, jan. 2010.

HENRIQUE, Alexandre B. **Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia**. 2012. 261p. Tese. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

HENRIQUE, Alexandre B.; SILVA, Cibelle C. Relações entre ciência e religião na formação de professores: estudo de caso sobre uma controvérsia cosmológica. In: **Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 12**. 2010, Águas de Lindóia. **Anais Eletrônicos do...** Disponível em: <http://www.academia.edu/3343269/RELACOES_ENTRE_CIENCIA_E_RELIGIAO_NA_FORMACAO_DE_PROFESSORES_ESTUDO_DE_CASO_SOBRE_UMA_CONTOVERSA_COSMOLOGICA>. Acesso em 26 jan. 2014.

JARDIM, Wagner T.; GUERRA, Andreia. Ensinando Física Moderna e Contemporânea: Cosmologia em Vídeos e Imagens. In: **Simpósio Nacional de Ensino de Física, 19**. 2011, Manaus. **Anais Eletrônicos do...** Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T0291-2.pdf>>. Acesso em 26 jan. 2014.

_____; _____. Minicurso de Cosmologia na Formação de Professores; Dificuldades na Ampliação de Propostas de Aplicação para o Ensino Médio. In: **Congreso Internacional Sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, 9**. 2013, Girona. **Anales Electrónicos del...** Disponível em: <http://congres.manners.es/congres_ciencia/gestio/creacioCD/cd/articulos/art_561.pdf>. Acesso em 06 mar. 2014.

KÖHNLEIN, Janete F. K.; PEDUZZI, Luiz O. Q. Uma discussão sobre a natureza da ciência no Ensino Médio: um exemplo com a teoria da Relatividade Restrita. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n.1. 2005.

LANGHI, Rodolfo. **Resumo de teses e dissertações nacionais sobre educação em astronomia**. Bauru: UNESP/Observatório Didático Astronômico "Lionel José Andriatto", 2008. 15 p.

Disponível em: <<http://unesp.br/astrologia/mostra_arq_multi.php?arquivo=4793>>. Acesso em 01 fev. 2014.

LEMOS, José C. G. **Do encanto ao desencanto, da permanência ao abandono: o trabalho docente e a construção da identidade profissional**. 2010. Tese (Doutorado em Educação). Pontifícia Escola Católica de São Paulo (PUC-SP). São Paulo, 2010.

LINO, Alex. **Inserção de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: a ligação entre teorias clássicas e modernas sob a perspectiva da aprendizagem significativa**. 2010. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e a Matemática). Universidade Estadual de Maringá. Maringá.

LOBATO, Tereza; GRECA, Ileana. M. Análise da inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de Física do Ensino Médio. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 11, n. 1, p. 119-32, 2005.

MACHADO, Daniel I. **Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia**. 2006. 300 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2006.

MEDEIROS, Alexandre; MEDEIROS, Cleide Farias de. Einstein, a Física dos Brinquedos e o princípio da equivalência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 3: p. 299-315, dez. 2005.

MEDEIROS, Luziânia. A. L. **Cosmoeducação: Uma abordagem transdisciplinar no Ensino de Astronomia**. 120p. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2006.

MENEZES, Luis Carlos de, Uma Física para o Novo Ensino Médio. **Física na Escola**, v. 1, n.1, out. 2000.

MONTENEGRO, Roberto Luiz; PESSOA JÚNIOR, Osvaldo. Interpretações da Teoria Quântica e as Concepções dos alunos do Curso de Física. **Investigação no Ensino de Ciências**, v.7 n. 2. 2002.

NEVES, Marcos, C. D. A questão controversa da cosmologia moderna: Hubble e o infinito - parte I. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.17 n. 2. 2000.

NEWTON, David. **Olbers1 Paradox: A Review of the Resolution of this Paradox**. Williams College. Disponível em: <<http://web.williams.edu/Astronomy/Course-Pages/419T/olbers.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2014.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marcos Antônio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa física moderna e contemporânea no ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.5, n. 1, mar. 2001.

OSTERMANN, F. ; FERREIRA, L. M. ; CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de Física Contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 20, n. 3, 270-288. São Paulo, 1998

OSTERMANN, Fernanda; e RICCI, Trieste F. Conceitos de Física Quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 1. 2005.

_____; _____. Relatividade Restrita no Ensino Médio: Contração de Lorentz-FitzGerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n.2: p. 176-190, ago. 2002.

PALMA, Alexander. **Olbers' Paradox**. The Pennsylvania State University. Disponível em: < https://www.e-education.psu.edu/astro801/content/l10_p2.html>. Acesso em: 02 set. 2014

PAULO, Iramaia. J. C; MOREIRA, Marco A.. Abordando conceitos fundamentais da Mecânica Quântica no nível médio. **Revista ABRAPEC**, v. 4, n. 2: p. 63-73, ago.2004.

PAULO, Iramaia. J. C.. **A aprendizagem significativa crítica de conceitos de mecânica quântica segundo a interpretação de Copenhagen e o problema da diversidade de propostas de inserção de Física moderna e Contemporânea no Ensino Médio**. 235 f. tese (Doutorado em Educação) – Departamento de Didáticas Específicas – Universidade de Burgos, Burgos, Espanha.

PEREIRA, Alexsandro P.; OSTERMANN, Fernanda . Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em ensino de Ciências**, v. 14, n 3. pp- 393 – 420. 2009

PIETROCOLA, Maurício. **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora**. Florianópolis. Editora da UFSC, 2005.

PIMBLETT, Kevin A.; NEWMAN, John C. Ex-nihilo II: examination syllabi and the sequencing of cosmology education. **Physical Education**, v. 38, n. 3, pp 243-252. mar. 2003

REIS, P.R. A discussão de assuntos controversos no ensino de ciências. **Inovação**, vol.12 1999. 106 p.

SALÉM, Sônia. **Estruturas Conceituais no Ensino de Física: Uma aplicação à Eletrostática**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Instituto de Física e Faculdade de Educação – USP, 1986.

SANTOS, Ricardo P. B. Relatividade Restrita com o auxílio de diagramas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 2: p. 238-246, ago. 2006.

SILK, Joseph. **O Big Bang: A Origem do Universo**. 1 ed. Editora Universidade de Brasília. Brasília. 1980.

TERRAZZAN, Eduardo. A. **Perspectivas para a inserção da física moderna na Escola Média**. 1994. 241f. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

VALADARES, Eduardo de Campos; MOREIRA, Alysson Magalhães. Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: Efeito fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, edição especial, 2004.

APÊNDICE A: PLANO DE ENSINO

Professor:	Ramissés Feld Santos
Escola:	Colégio Estadual Campos Sales
Série/Turma:	3ºA, 3ºB e 3ºC
Horários das aulas:	Não definido
Total de Aulas:	4 horas-aula
Professor regente:	Ramissés Feld Santos

Concepção de ensino e aprendizagem/Justificativa da disciplina:

Não é possível separar o ensino das figuras do professor, do aluno e do conteúdo. Basicamente é uma intenção, que possui um objetivo, de ordem cognitiva, motora ou mesmo de caráter afetivo, realizado por meio de processos próprios. O ensino será capaz de ser efetivo apenas se o aluno for capaz de aprender o que lhe foi ensinado. É esse o objetivo, revelar o conteúdo a ser aprendido. Dependendo do processo, o ensino pode subjugar um aluno ou ser companheiro deste, dando atenção ao diálogo. O primeiro processo se apresenta quando a intenção for de prepotência ou manipulação, quando o indivíduo que ensina pretende apenas transmitir seus conhecimentos. O segundo processo pode ser definido como uma apreciação do conteúdo por meio do diálogo horizontal. Apesar de existir a tendência de rejeitar o primeiro processo, ele pode ser útil em algumas situações. O ensino é uma reorganização cognitiva, afetiva, motora ou ambiental, onde os participantes do processo reorganizam-se para atingir os objetivos determinados inicialmente. (TEIXEIRA, 2013)

Não se pode desvincular a noção de ensino da noção de aprendizagem, embora possa ocorrer a aprendizagem sem a intenção do ensino. A aprendizagem é a absorção cognitiva, motora ou afetiva do que foi ensinado, mas pode ser mais abrangente; um indivíduo pode absorver significados para ele por outros meios que o ensino formal. Também se pode definir aprendizagem como a mudança dos modos os quais as pessoas podem ou poderão a vir a se comportar. Não se pode ensinar ninguém sem que o sujeito que está aprendendo esteja disposto a aprender.

A sequência didática tem em seu âmbito o ensino da Cosmologia Moderna, dentro do contexto da Física Moderna e Contemporânea. Seu ensino se justifica por vários motivos: a Cosmologia Moderna proporciona o aluno a atual visão da humanidade a cerca do universo. Uma segunda justificativa é a necessidade urgente de se atualizar a grade curricular do Ensino de Física do Ensino Médio, para que não apenas a física do século XIX seja ensinada em sala de aula, mas que a física depois de 1900 também seja contemplada no currículo de física. A Cosmologia Moderna também proporciona um grande repertório de discussão da epistemologia de toda a ciência. A noção de desenvolvimento da ciência é um tópico de suma importância e se faz muito necessária no Ensino Médio.

Descrição do contexto:

A partir do decreto nº 26.692 de novembro de 1959, a Escola Normal Regional de Campina Grande do Sul, mantida pelo Estado, foi criada. A Escola Regional de Campina Grande do Sul foi instalada em 23 de fevereiro de 1960. Três meses depois, a escola passou a se chamar Escola Normal Regional Campos Sales, em homenagem a Manoel Ferraz de Campos Sales.

Inicialmente ofertava o ensino equivalente ao Ginásio, mas com disciplinas para habilitação em Magistério. Em 1967, a formação de mestres foi interrompida com a transformação da Escola Normal em ginásio, com turmas de 1ª a 4ª séries.

Em 1981, a escola abriu turmas de 5º a 8º série, além de turmas de 2º grau no ano seguinte. Sua localização atual, em Campina Grande do Sul, está inalterada de 1988.

No município, é a instituição pública de maior tradição no município, possuindo atualmente turmas de ensino médio no período de manhã, tarde e noite, atendendo a comunidade da sede do município, além de bairro vizinhos.

Objetivos:

Os objetivos gerais da sequência didática são: apresentar aos estudantes noções de Cosmologia Moderna, concentrando-se na Cosmologia Observacional, para que o aluno conheça qual é a posição atual da ciência sobre a visão geral que a humanidade possui sobre o universo.

A partir do paradoxo de Olbers, o aluno terá que refletir se o universo possui dimensões finitas ou infinitas. Para que o aluno entre nesse mundo, é necessário que ele tenha primeiramente alguns subsídios. Primeiramente, faz-se necessário que o aluno conheça tópicos de como os astrônomos estimam as distâncias entre a Terra e os objetos astronômicos, sejam próximos ou distantes. Para que os estudantes conheçam mais a fundo as áreas de conhecimento da Astronomia e da Cosmologia, como a composição dos astros e suas velocidades em relação à Terra.

A partir dos conhecimentos obtidos a partir da análise dos corpos celestes a partir da espectroscopia astronômica, o aluno pode inferir que quase todas as galáxias estão se afastando da Terra, e a velocidade de afastamento é diretamente proporcional à distância em relação à Terra. Essa relação é conhecida como a Lei de Hubble.

O aluno perceberá que se pode concluir que, se as galáxias estão se afastando da Terra, estão se afastando uma das outras e o próprio universo está em expansão. Como consequência, o universo teve uma origem e possui uma idade, resumido em um modelo cosmológico intitulado *Big Bang* (SILK, 1980).

Ao final, o aluno será capaz de responder se o universo é finito ou infinito e compreenderá melhor sua própria visão de mundo, percebendo que a ciência também busca uma explicação para o universo.

Meu objetivo pessoal nas aulas é revelar os conteúdos acima descritos da melhor forma, sempre mantendo a seriedade exigida no ambiente do colégio, mas, ao mesmo tempo, mantendo uma relação amistosa e horizontal com os alunos, adequando a linguagem e contextualizando sempre que possível.

Conteúdo programático e procedimentos de elaboração / Cronograma:

Data	Descrição	Horas-aula
Semana de 26 a 30 de	Paradoxo de Olbers	1

maio		
Semana de 26 a 30 de maio	Escalas de distância astronômicas e espectroscopia astronômica	1
Semana de 2 a 6 de junho	Lei de Hubble e a homogeneidade e isotropia do universo	1
Semana de 2 a 6 de junho	A teoria do Big Bang	1
Total de aulas: 4 horas/aula		

Metodologia de ensino:

As aulas não estarão deslocadas de aulas de ensino tradicional, já que boa parte dos momentos serão aulas expositivas. Porém, sempre que possível, realizar as devidas contextualizações e associações com a tecnologia, sociedade e ambiente. Serão utilizados recursos multimídia, pois o tema requer a utilização de imagens. A sequência didática terá início com o paradoxo de Olbers, uma problematização científica, na qual o aluno enfrenta um obstáculo de conhecimento, colocando propositalmente dúvidas a respeito da finitude ou infinitude do universo.

Avaliação:

A sequência didática será avaliada por meio de um questionário aberto contendo questões sobre o conteúdo ministrado.

Referências bibliográficas:

TEIXEIRA, Gilberto. **Introdução aos Conceitos de Educação, Ensino, Aprendizagem a Didática**. Disponível em: <<http://www.serprofessoruniversitario.pro.br/módulos/ensino-e-aprendizagem/introdução-aos-conceitos-de-educação-ensino-aprendizagem-didática#.Un7MoHBwpXY>>. Acesso em: 9 nov. 2013.

APÊNDICE B: PLANO DE AULA 1

Professor:	Ramissés Feld Santos
Escola:	Colégio Estadual Campos Sales
Série/Turma:	3ºA, 3ºB
Data:	Semana de 26 a 30 de maio de 2014
Horário:	Não definido
Duração:	1 hora-aula
Tema:	Paradoxo de Olbers
Objetivos:	<p>Discutir sobre a estrutura e a origem do universo a partir do paradoxo de Olbers.</p> <p>Visualizar o paradoxo de Olbers com a ajuda de um kit experimental, intitulado “universo em miniatura”.</p> <p>Discutir os problemas de se afirmar um universo infinito.</p>
Conteúdos:	Paradoxo de Olbers
Estruturação da aula:	<p>Os alunos serão convidados a visualizar o paradoxo de Olbers com seus próprios olhos. Para isso, será mostrado a eles um kit experimental, intitulado “universo em miniatura”. Esse kit experimental será consistido de uma caixa escura contendo um grande número de leds brancos. O aluno será convidado a olhar por um orifício para dentro da caixa e tentará enxergar o seu fundo, sem sucesso.</p> <p>Em seguida, vou explicar que a caixa fechada tenta simular um universo infinito, com infinitas estrelas. Apenas nesse momento vou entrar no mérito do paradoxo de Olbers: se o universo é infinito e contém infinitas estrelas, como é possível enxergarmos o céu noturno praticamente escuro? Para auxiliar na explicação, serão utilizados recursos multimídia, como imagens.</p> <p>Por fim, o paradoxo de Olbers será detalhado com o recurso das cascas esféricas, na qual cada casca possui certa quantidade constante de estrelas. Uma casca mais próxima da Terra possui uma densidade</p>

maior de estrelas, e uma casca esférica mais distante terá uma densidade menor de estrelas. Mesmo assim, como inicialmente supomos que o universo é infinito, o número de cascas esféricas também é infinito, sendo possível afirmar o mesmo para o número de estrelas.

O paradoxo reside exatamente no número infinito de estrelas: nas cascas esféricas mais próximas, as estrelas serão mais brilhantes, mas o brilho dessas estrelas diminuirá com a distância. Porém, como há infinitas estrelas, todos os espaços do céu noturno visto a partir da Terra serão ocupados pelo brilho das estrelas. Dessa forma, o céu noturno deveria ser tão brilhante quanto o Sol!

A resposta para o paradoxo que os alunos agora percebem não será dado nesse primeiro momento, apenas no final da sequência didática.

Ambientes e recursos didáticos:

Sala de aula tradicional;

Projetor de slides

Referências:

SILK, Joseph. **O Big Bang: A Origem do Universo**. 1 ed. Editora Universidade de Brasília. Brasília. 1980.

APÊNDICE C: PLANO DE AULA 2

Estagiário:	Ramissés Feld Santos
Escola:	Colégio Estadual Campos Sales
Série/Turma:	3ºA, 3ºB e 3ºC
Data:	Semana de 26 a 30 de maio de 2014
Horário:	Não definido
Duração:	1 hora-aula
Tema:	Escalas de distâncias e espectroscopia astronômica
Objetivos:	<p>Verificar as diferentes maneiras de estimar a distâncias de objetos astronômicos em relação à Terra.</p> <p>Perceber que a espectroscopia astronômica pode verificar a composição de astros e ainda pode indicar sua velocidade em relação à Terra.</p> <p>Verificar o conceito de <i>redshift</i>, obtido a partir da espectroscopia astronômica, e como ele pode ser usado como uma medida da velocidade de afastamento ou de aproximação de um objeto astronômico.</p>
Conteúdos:	<p>Escala de distâncias astronômicas</p> <p>Espectroscopia discreta e contínua</p> <p><i>Redshift</i></p> <p>Efeito Doppler</p>
Estruturação da aula:	<p>A aula será iniciada questionando os alunos sobre como sabemos a distância das estrelas em relação à Terra.</p> <p>Em seguida, começarei a apresentar as diferentes formas de estimativa de distâncias de objetos astronômicos, começando a partir da paralaxe, passando pelas estrelas variáveis cefeídas e por último, a estimativa de brilho de galáxias distantes, mas que possuem forma conhecida.</p>

Logo a seguir, começarei a discutir tópicos de espectroscopia. Não se espera uma grande compreensão por parte dos alunos, apenas que se conheça os tópicos básicos. Falarei o que é a espectroscopia astronômica e como ela pode ser usada para a determinação da composição de um objeto apenas pela sua emissão de luz própria. O padrão de imagem visto a partir de um espectroscópio pode ser contínua, no caso de objetos que emitem luz própria devido à sua temperatura, ou discreta, quando gases emitem luz devido à sua ionização. Discutirei sobre os modos de decompor a luz em suas cores constituintes e que essa cor está diretamente ligada ao seu comprimento de onda. Cada corpo emite luz de sua maneira e que isso pode ser levado à Astronomia para descobrir a composição dos astros.

Para finalizar, a partir da observação das linhas espectrais, podemos verificar que as linhas estão deslocadas para o vermelho se o objeto está se afastando (*redshift*) da Terra ou estão deslocadas para o azul se estão se aproximando da Terra (*blueshift*). Este efeito é verificado a partir da análise do efeito Doppler – já que a velocidade da luz é finita, o comprimento da onda da luz de corpos que se afastam ou se aproximam devem estar alteradas quando comparadas à luz emitida pelo objeto em repouso.

Ambientes e recursos didáticos:

Sala de aula tradicional;

Projektor de slides

Referências:

SILK, Joseph. **O Big Bang: A Origem do Universo**. 1 ed. Editora Universidade de Brasília. Brasília. 1980.

APÊNDICE D: PLANO DE AULA 3

Professor:	Ramissés Feld Santos
Escola:	Colégio Estadual Campos Sales
Série/Turma:	3ºA, 3ºB e 3ºC
Data:	Semana de 2 a 6 de junho de 2014
Horário:	Não definido
Duração:	1 hora-aula
Tema:	A hipótese de Hubble e a homogeneidade e a isotropia do universo
Objetivos:	<p>Observar que praticamente todas as galáxias mais próximas estão se afastando da Terra e, quando mais distante estiver a galáxia da Terra, maior vai ser a sua velocidade de afastamento.</p> <p>Verificar a hipótese de Hubble, que relaciona o afastamento das galáxias com a expansão do universo.</p> <p>Perceber que o universo é homogêneo e isotrópico.</p>
Conteúdos:	<p><i>Redshift</i></p> <p>Lei de Hubble</p> <p>Homogeneidade e isotropia do universo</p>
Estruturação da aula:	<p>Como continuação da aula anterior, discutirei que um <i>redshift</i> é observado em praticamente todas as galáxias conhecidas. Nas galáxias relativamente mais próximas, ao <i>redshift</i> não é tão pronunciado quanto nas galáxias distantes.</p> <p>Edwin Powell Hubble, na década de 20, verificou que esse <i>redshift</i> estava associado à velocidade de afastamento das galáxias em relação à Terra, quanto mais distante a galáxia estiver em relação à Terra, com maior velocidade ela se afasta. De fato Hubble encontrou uma lei de proporcionalidade direta entre a distância da galáxia em relação à Terra (d) e sua velocidade de afastamento (v). Esta relação, resumida na</p>

forma $v = Hd$, é conhecida como a Lei de Hubble e H é a constante de Hubble.

Hubble chegou à conclusão que, se quase todas as galáxias estão se afastando da Terra, estão se afastando uma em relação às outras e o próprio universo está se expandindo. Para isso, será usada, além dos recursos de multimídia, o clássico exemplo de um balão em expansão, com os objetos em sua superfície se afastando uns dos outros enquanto o balão se expande.

Ao fim, passarei a discutir a homogeneidade e a isotropia do universo. Uma inferência das observações de Hubble a procura de galáxias distantes é que a distribuição de matéria no universo é praticamente constante, sem grandes concentrações ou dispersões. Há praticamente o mesmo número de galáxias por unidade de volume no universo. O universo também é isotrópico, ou seja, suas propriedades não variam conforme se varia a direção de observação.

Ambientes e recursos didáticos:

Sala de aula tradicional;

Projeter de slides

Referências:

SILK, Joseph. **O Big Bang: A Origem do Universo**. 1 ed. Editora Universidade de Brasília. Brasília. 1980.

APÊNDICE E: PLANO DE AULA 4

Professor:	Ramissés Feld Santos
Escola:	Colégio Estadual Campos Sales
Série/Turma:	3ºA, 3ºB e 3ºC
Data:	Semana de 2 a 6 de junho de 2014
Horário:	Não definido
Duração:	1 hora-aula
Tema:	A teoria do <i>Big Bang</i>
Objetivos:	<p>Verificar que, se o universo está em expansão, ele teve uma origem.</p> <p>Discutir a idade do universo.</p> <p>Comparar a idade do universo com a idade da Terra.</p> <p>Verificar a idade das estrelas</p> <p>Discutir o que houve nos momentos iniciais do universo</p> <p>Discutir como será o fim do universo, se é que irá ter algum.</p>
Conteúdos:	<p>Idade do universo</p> <p>Diagrama de Hertzsprung-Russel</p> <p>Teoria do <i>Big Bang</i></p>
Estruturação da aula:	<p>Como desfecho da sequência didática, será levantando a hipótese de que, se o universo está em expansão, logo ele teve uma origem. Primeiramente, vou discutir o tempo transpassado desde essa origem até os dias de hoje, discutindo vários pontos de vista para se estimar esse tempo decorrido.</p> <p>A partir de então, vou realizar uma série de comparações entre a idade do universo e a idade da Terra.</p>

Para a idade da Terra, há uma estimativa mais confiável baseado na medição de isótopos de urânio e de chumbo, o que leva a uma idade de aproximadamente 4,6 bilhões de anos para a Terra e essa conclusão pode ser estendida para todo o Sistema Solar. Portanto, o universo deve ser mais antigo que 4,6 bilhões de anos. Outra técnica é estimar a idade das estrelas. Para isso, terei que discutir tópicos do diagrama de Hertzsprung-Russel de classificação de estrelas. Como resultado da análise das estrelas, conclui-se que as estrelas mais antigas têm em torno de 13 bilhões de anos de idade, o que pode ser uma razoável estimativa da idade do universo.

Em seguida, começarei a explicar o que houve nos instantes posteriores à origem do universo e porque esse momento ficou chamado de *Big Bang*, termo cunhado por Fred Hoyle. Também vou discutir qual será o possível destino do universo, que depende exclusivamente de sua quantidade de matéria. Se houver matéria suficiente para que os efeitos da gravidade superem os efeitos da expansão, o universo parará sua fase de expansão e começará a se contrair, tendo como fim um *Big Crunch*. Porém, se a quantidade de matéria for insuficiente, o universo continuará a se expandir para sempre. Com a descoberta da aceleração da expansão do universo nos últimos anos, o segundo cenário é mais plausível.

Por fim, voltarei ao paradoxo de Olbers e perguntarei novamente aos alunos se o universo é finito ou infinito. Mostrarei que a resposta para o paradoxo reside na teoria do *Big Bang*.

Ambientes e recursos didáticos:

Sala de aula tradicional;

Projetor de slides

Referências:

SILK, Joseph. **O Big Bang: A Origem do Universo**. 1 ed. Editora Universidade de Brasília. Brasília. 1980.

APÊNDICE F: MATERIAL DIDÁTICO



Nome _____ N.º: _____

Turma: _____ Turno: _____ Data: ____ / ____ /2014

Professor Ramissés Feld Santos Valor: _____ Nota: _____

PRINCIPIOS FUNDAMENTAIS DA COSMOLOGIA MODERNA

1. NO COMEÇO

A Mitologia, a primeira tentativa de explicar as questões cosmológicas, consiste em narrativas que descrevem o universo em termos simples. A Cosmologia, expressa particularmente como uma mitologia, pode influenciar as ações de uma cultura ou de um indivíduo. O Big Bang se apresenta para um leigo apenas como outro mito, embora ausente de algumas características inerentes aos humanos. A diferença, no entanto, é que a Cosmologia Moderna está baseada no método científico.

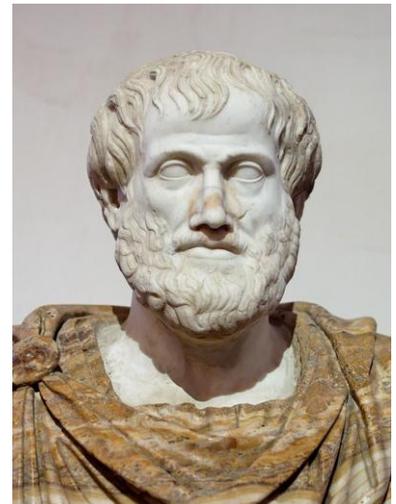


Figura 1: Aristóteles.

Fonte: Wikimedia Commons (2014).

Nosso tema norteador será aquela onde a Cosmologia Moderna não é o mito atual da criação. O desenvolvimento histórico do método científico, as grandes melhoras na coleta de dados e o desenvolvimento das teorias físicas construíram a Cosmologia Moderna.

O método científico possui regras bem específicas. É baseado em dados objetivos, observações que são independentes de quem realizou as observações. Quando dados suficientes são coletados, surge uma hipótese para explicá-los e unificá-los. Para ser considerado científico, a hipótese deve possuir cinco características: deve ser relevante, testável, consistente, simples e ter um poder de extrapolação. Uma hipótese que não possui a possibilidade de ser colocada em dúvida não é científica. Quando uma hipótese alcança sucesso em explicar os dados e prova ser útil em prever novos fenômenos, é então chamada de teoria.

2. A COSMOLOGIA SE TORNA UMA CIÊNCIA

A primeira tentativa de se construir uma Cosmologia sistemática estava baseada no modelo físico de Aristóteles. O filósofo grego desenvolveu uma teoria do movimento, definindo conceitos como “movimento natural” e “força”. De acordo com o ponto de vista de Aristóteles, a Terra era o centro do universo e o centro de todos os movimentos naturais. Os movimentos na Terra eram lineares e finitos, enquanto os corpos celestiais executavam movimentos circulares perpétuos. As estrelas e planetas eram compostos de um elemento perfeito chamado “éter”, enquanto substâncias terrenas eram feitas da combinação variada dos quatro elementos fundamentais: terra, fogo, água e ar. O movimento de um corpo era definido de acordo com sua composição.



O ponto de vista geocêntrico de Aristóteles foi englobado no modelo de universo

Figura 2: Cláudio Ptolomeu.

Fonte: Wikimedia Commons (2014).

de Ptolomeu, com os seus deferentes, epiciclos e excentricidades, projetados para descrever os movimentos aparentemente complexos dos corpos celestiais, mas mantendo a perfeição do círculo.

Durante o Renascimento, o modelo cosmológico da humanidade mudou dramaticamente. Os primeiros “ventos” da Revolução Científica foram assoprados por Copérnico, cujo modelo heliocêntrico dos céus ganhou uma rápida aceitação dentro da comunidade intelectual da época.



Figura 3: Sistema heliocêntrico de Copérnico, como visto em seu livro *De revolutionibus orbium coelestium*.

Fonte: Wikimedia Commons (2014).

As observações de Tycho Brahe de uma supernova que apareceu em 1572 ajudaram a encerrar a crença na perfeição celestial constante de Aristóteles. As observações a olho nu de Brahe serviram com dados que foram usados por Johannes Kepler para alcançar as suas leis do movimento planetário. As leis de Kepler tornou possível pela primeira vez o entendimento dos movimentos dos “errantes” no céu.

- *Primeira Lei de Kepler:* Os planetas orbitam o Sol em órbitas elípticas, com o Sol em um dos focos.
- *Segunda Lei de Kepler:* A área varrida pela linha que une o planeta ao Sol é igual em intervalos de tempos iguais.
- *Terceira Lei de Kepler:* O quadrado do período orbital é proporcional ao cubo do comprimento do semieixo maior da órbita.

Uma consequência para a Segunda Lei de Kepler é que os planetas de movimentam mais lentamente enquanto estão mais afastados do Sol. É possível, por meio da terceira lei, inferir o período orbital de cometas, asteroides e planetas sabendo apenas o comprimento do semieixo maior de suas órbitas. Estas leis foram uma das maiores conquistas realizadas durante o Renascimento.

Kepler e Galileu foram contemporâneos, embora Kepler fosse mais teórico e Galileu mais observador. Galileu foi o primeiro a realizar uso científico dos

telescópios, um instrumento que permitiu observações que desafiavam o modelo ptolomaico dos céus. Galileu observou as crateras lunares, mostrando que elas não eram perfeitas. Ele também observou que a Via Láctea não é uma simples faixa de luz que cruza o céu, mas é formada de miríades de estrelas. Também observou que Venus possuía um ciclo de fases, como a Lua. As fases de Venus eram impossíveis de ser previstas no sistema ptolomaico, mas perfeitamente cabível dentro do sistema copernicano. Porém, uma das mais importantes descobertas galileanas foi o descobrimento das quatro maiores luas de Júpiter. Essas luas mostraram que a Terra não era o centro de qualquer movimento do universo, refutando uma das teses fundamentais da física aristotélica.

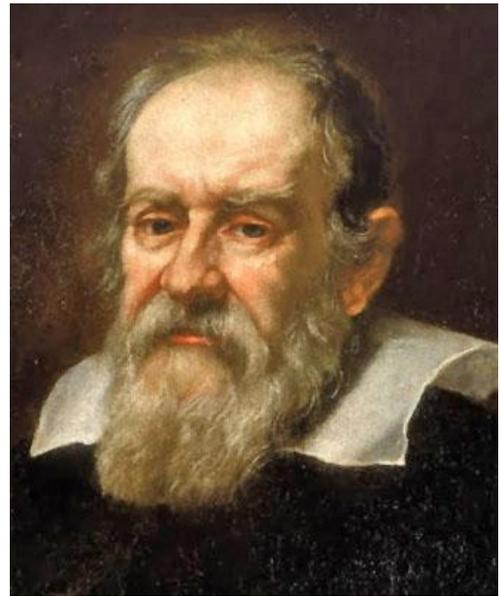


Figura 4: Galileu Galilei.

Fonte: Wikimedia Commons (2014).

A partir de observações diretas, Galileu concluiu que todos os corpos caem ao mesmo tempo, se a resistência do ar for desconsiderada. O princípio, agora chamado de *princípio da equivalência*, foi fundamentado a partir das observações de Galileu e é hoje um dos principais pilares da teoria da relatividade de Einstein. Galileu também percebeu que o movimento é relativo.

3. A MECÂNICA DE NEWTON

Isaac Newton formulou as leis que governam os movimentos do universo. A Primeira Lei de Newton é uma definição das condições para o movimento uniforme: um corpo em repouso tende a permanecer em repouso ou em movimento constante se não houver forças externas ou se o somatório das forças for nulo. A Segunda Lei de Newton define a massa como uma conexão entre a força e a aceleração. Matematicamente, a Segunda Lei de Newton é descrita como $\vec{F} = m\vec{a}$. Como a aceleração é a taxa de mudança da velocidade com o tempo, se a aceleração for

nula, o corpo se manterá em velocidade constante. O repouso é apenas um caso especial de velocidade constante. A velocidade, a aceleração, a força e muitas outras grandezas físicas importantes são vetores, que dependem, além de sua magnitude, de direção e sentido. A Terceira Lei de Newton diz que para toda ação existe uma reação.

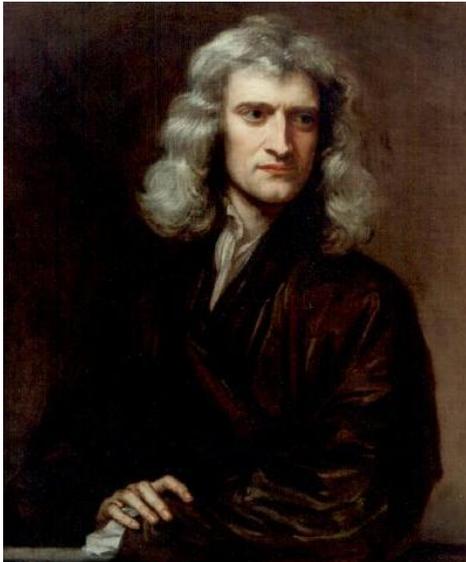


Figura 5: Isaac Newton.

Fonte: Wikimedia Commons (2014).

Com suas três leis formuladas, Newton pôde desenvolver a sua Lei da Gravitação Universal, que afirma que a força gravitacional entre dois objetos é proporcional ao produto de suas massas e ao inverso do quadrado da distância. A constante de proporcionalidade é uma das constantes fundamentais da natureza e é simbolizada pela letra G . Mesmo após um século após a morte de Newton, o valor de G ainda não era conhecido e mesmo hoje o valor de G é menos preciso comparada às outras constantes fundamentais da natureza.

Newton postergou a publicação de seus resultados, em parte devido ao necessário desenvolvimento das ferramentas matemáticas para isso. Finalmente, Edmond Halley persuadiu Newton a publicar seu trabalho, intitulado *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, em 1687, que é considerado um dos maiores tratados científicos já publicados. Além de revelar a mecânica que ainda usamos até hoje, Newton foi capaz de demonstrar matematicamente as Leis de Kepler e mostrar que as órbitas devem seguir trajetórias elípticas, parabólicas ou hiperbólicas.

Após a publicação do *Principia* o entendimento do universo aumentou dramaticamente. Juntamente com novos desenvolvimentos tecnológicos, essa nova ciência fez parte de uma era denominada pelos historiadores como o Iluminismo.

A Cosmologia Newtoniana era um relógio majestoso e determinístico. A princípio, um supercomputador poderia prever inteiramente o destino do universo, sabendo com precisão apenas suas posições e velocidades iniciais. O universo mecânico e os novos entendimentos das leis naturais influenciaram a Filosofia e a Teologia. Muitos intelectuais europeus e americanos abraçaram a ideia de que as mesmas leis naturais governam o comportamento humano como o movimento dos

objetos, e que o universo seria uma máquina majestosa colocada em movimento por um grande mecânico superior.

Dois séculos após Newton, não aconteceu nenhuma mudança dramática. O conhecimento das leis newtonianas levou a um melhor entendimento do tamanho do Sistema Solar, da Geologia e até mesmo da Biologia. Darwin desenvolveu sua teoria da evolução antes mesmo de se saber com algum grau de certeza a idade da Terra, estimada no começo do século XX em 4,5 bilhões de anos.

4. ILUMINANDO OS MUNDOS

Alguns conceitos a seguir são fundamentais no entendimento científico da Cosmologia, mas serão abordados de uma forma mais superficial. Também será levado em consideração que o estudante já tenha estudado o espectro eletromagnético e que a luz visível faz parte desse, além de conceitos de espectrometria.

- *Radiação de corpo negro*: é um tipo bem específico de espectro que corresponde ao equilíbrio térmico. A radiação emitida é completamente caracterizada pela temperatura do corpo que emite a radiação. A radiação cósmica de fundo é um exemplo, onde o próprio universo é o corpo emissor. A temperatura da radiação caiu significativamente ao longo da história do universo devido ao processo inflatório e está atualmente a apenas 2,73 K, ou seja, 2,73 °C acima do zero absoluto.
- *Fusão nuclear*: são reações nucleares que combinam elementos mais leves em elementos pesados. As estrelas são 'movidas' à fusão nuclear. Esse processo também explica como os elementos no universo são construídos a partir de prótons e nêutrons, em um processo chamado *nucleosíntese*. As reações nucleares que aconteceram no início do universo formaram o

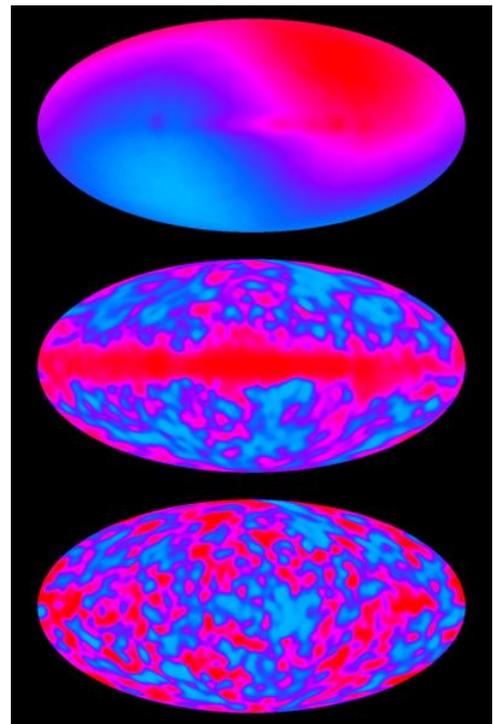


Figura 6: Radiação cósmica de fundo em micro-ondas, determinadas pelo satélite COBE.

Fonte: Wikimedia Commons (2014).

hidrogênio, a partir do qual todos os elementos e isótopos são formados no interior das estrelas. Os elementos mais pesados que o ferro são formados durante as supernovas.

- *Desvio para o vermelho e desvio para o azul (redshift e blueshift):* são mudanças observadas no espectro. As mudanças provocadas pelo Efeito Doppler são as mais significativas e se caracteriza pela mudança da frequência e do comprimento de onda devido à velocidade relativa entre o emissor e o receptor. O Efeito Doppler é um efeito observável também em ondas sonoras, mas deve ser modificado para velocidades próximas a da luz. As mudanças nas frequências e dos comprimentos de onda da luz também são causadas devido à gravidade e a inflação cósmica, que será contemplada mais a frente.



Figura 7: Messier 51, uma clássica galáxia em espiral.

Fonte: Wikimedia Commons (2014).

- *Distância:* a distância pra uma fonte luminosa pode ser verificada pela atenuação da intensidade luminosa com a distância. Encontrar as distâncias para os objetos astronômicos é um dos maiores

desafios para a Astronomia e para a Cosmologia. A luminosidade de objetos conhecidos auxilia nessa

tarifa. Fisicamente falando, a frente de onda luminosa se expande quando se afasta da fonte, espalhando a energia luminosa por uma área esférica cada vez maior.

- *Tipos de galáxia:* as galáxias são geralmente classificadas em três tipos baseados em suas formas e propriedades. As galáxias *elípticas* possuem um formato arredondado ou elíptico e contem principalmente estrelas velhas. Já as galáxias *espirais* são discos com braços espirais destacadas e contem poeira e gás, que são locais para a formação de estrelas jovens. As galáxias *irregulares* são se encaixam em nenhuma das categorias anteriores.

5. A VIDA DAS ESTRELAS

As estrelas possuem importância fundamental na Cosmologia. São responsáveis pela maior parte luminosa do universo. Nasceram de grandes nuvens de gás interestelares. Forças gravitacionais começam a reunir o gás frio dessas nuvens, levando à formação de núcleos densos. São desses núcleos que as estrelas se formam.

Existe uma relação entre a massa dessas estrelas e suas luminosidades. Em geral, podemos dizer que a luminosidade de uma estrela é

proporcional ao cubo de sua massa. A vida média de uma estrela depende de sua luminosidade e quanto mais luminosidade uma estrela tiver, mais massa ela consumirá. Isso significa que uma estrela mais luminosa e maciça vai morrer mais cedo. Ao se colocar as estrelas em um gráfico de luminosidade e massa, chamado de diagrama H-R, pode-se verificar a existência de uma sequência principal.

Podemos inferir também a idade das estrelas utilizando o diagrama H-R. Percebe-se que as estrelas mais velhas estão concentradas em aglomerados globulares. Ao se determinar a idade desses aglomerados, podemos inferir uma idade mínima para o próprio universo. De acordo com os dados atuais, chegou à conclusão de que os aglomerados mais velhos têm idades entre 12 e 15 bilhões de anos.

Boa parte da massa do universo não está contida nas estrelas e não se conhece adequadamente a origem dessa massa excedente. A essa massa não detectada chamamos de matéria escura.

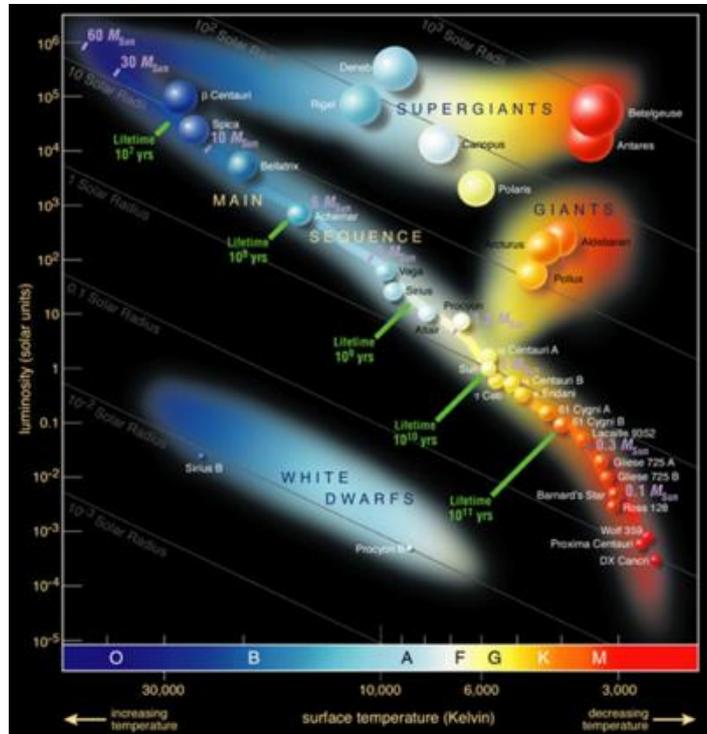


Figura 8: Diagrama HR.

Fonte: Wikimedia Commons (2014).



Figura 9: Nebulosa de Helix.

Fonte: Wikimedia Commons (2014).

Além de se conhecer a idade das estrelas, também é de igual importância se conhecer como elas morrem. Quando o hidrogênio combustível de uma estrela acaba, ela terá que usar outro combustível, senão morrerá. Esse outro combustível normalmente é o hélio, que provê ainda mais energia do que o hidrogênio quando está envolvido em algum nucleossíntese. Como consequência, a estrela se aquecerá mais e se expandirá, se tornando uma gigante vermelha. Porém, o hélio logo se esgota e se a estrela for grande o

suficiente, começará a usar como combustível o oxigênio, o neônio e o silício, formando no final do processo ferro. Se a estrela for pequena, não há mais combustível e a estrela começa a esfriar, encolhendo ao tamanho da Terra e se tornando uma anã branca, deixando uma nebulosa planetária para trás.

Se a estrela for grande e tiver consumido todos os materiais disponíveis, restando apenas ferro, a falta súbita do combustível causará uma implosão de seu núcleo. As camadas da estrela externas a esse núcleo se contrairão e o material contido nessas camadas voltará a realizar fusão nuclear, porém de forma violenta, que causará uma mega explosão que estilhaça as camadas superiores da estrela para o espaço. Essa explosão é conhecida como *supernova*. A energia envolvida na explosão de uma

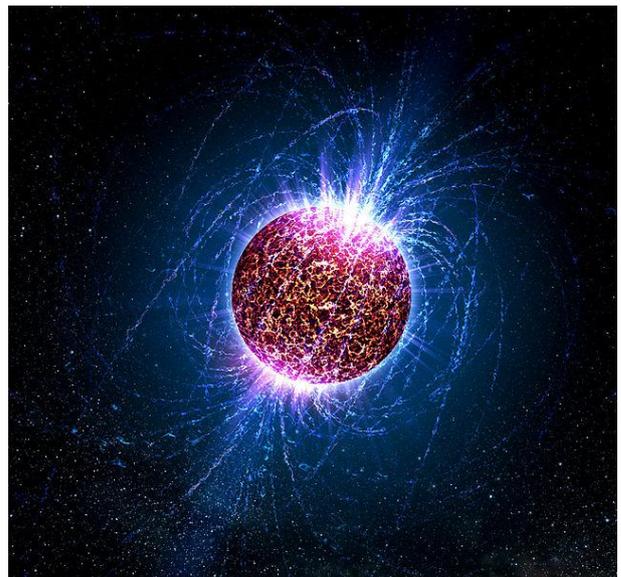


Figura 10: Representação artística de uma estrela de nêutrons.

Fonte: Wikimedia Commons (2014).

supernova é suficiente para fundir o ferro em elementos mais pesados. Assim, elementos como chumbo e urânio foram formados em supernovas.

As supernovas deixam para trás os núcleos colapsados das estrelas. Se a estrela for mediana, após a supernova se forma uma estrela de nêutrons, de diâmetro de poucos quilômetros, mas que possui uma densidade enorme: uma colher de chá de uma estrela de nêutrons pesaria cerca de dois bilhões de toneladas na Terra. Se a estrela for grande o suficiente, a gravidade do núcleo formado após a explosão da supernova é tão intensa que até mesmo os nêutrons não aguentam e se desmoronam sobre si, levando toda a matéria a um único ponto com densidade infinita, onde o campo gravitacional é tão intenso que nem mesmo a luz pode escapar. Esses objetos são conhecidos como os buracos negros.

6. O TEMPO E O ESPAÇO NÃO SÃO MAIS INFINITOS

Os conceitos físicos mais importantes para a Cosmologia são o tempo e o espaço. Esses não são infinitos. Por exemplo, não existia tempo anterior ao Big Bang. Os princípios cosmológicos argumentam que o universo é homogêneo e isotrópico. Dizemos que o universo é homogêneo, pois não há concentrações de matéria em regiões determinadas do espaço. A densidade de matéria é constante levando-se em consideração grandes volumes do universo. Dizemos que o universo também é isotrópico, pois tem a mesma aparência quando é observado em qualquer direção. A isotropia e a homogeneidade do universo levam a geometrias bastante restritas para o universo. Ao todo, teoricamente, restaram apenas três possibilidades: duas delas afirmam que o universo é infinito e a outra afirma que o universo é finito, mas não possui centro ou bordas. Sabe-se atualmente que a geometria espacial do universo é plana (DA SILVA, 2005).

7. A RELATIVIDADE GERAL

Albert Einstein demonstrou, em 1905, que certas proposições da mecânica newtoniana paravam de funcionar quando se aproximava da velocidade da luz. Como consequência, Einstein reformulou a mecânica de Newton para referenciais inerciais (movimento constante) e essa reformulação ficou conhecida como a teoria da relatividade restrita. Restrita porque não levava em consideração referenciais não-inerciais (com aceleração) e a gravidade. Essa relatividade trouxe conceitos novos, como a dilatação do tempo, a contração do comprimento e a relação massa-energia.

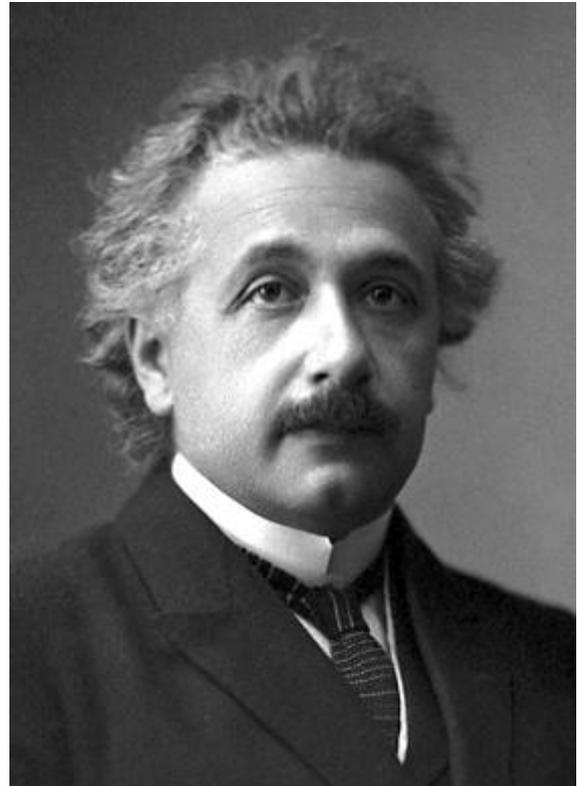


Figura 11: Albert Einstein.

Fonte: Wikimedia Commons (2014).

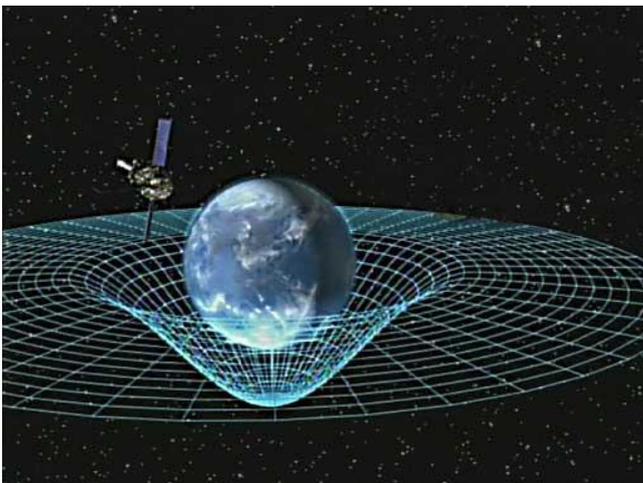


Figura 12: A presença de massa altera a geometria do espacotempo

Fonte: Wikimedia Commons (2014).

A lei da gravitação de Newton também não é compatível com a relatividade restrita de Einstein, pois Newton assumia que a distância, essencial para se conhecer a força gravitacional entre dois corpos, não era mais uma grandeza absoluta, mas sim uma grandeza relativa. Além

disso, para Newton, se um corpo ‘desaparecesse’, a força gravitacional se cessaria instantaneamente. Porém, a

relatividade não permite isso, pois toda informação tem como velocidade máxima a velocidade da luz.

Para explicar a relatividade em referenciais não-inerciais e com gravidade, Einstein propôs que a própria gravidade era o resultado de uma geometria especial do espaço. O postulado fundamental da relatividade geral é o princípio da equivalência de Einstein. Como há uma estrita equivalência entre a gravidade e um referencial acelerado, referenciais em queda livre são localmente equivalentes a referenciais inerciais como consequência. É a geometria do espaço quem diz se um objeto está em queda livre ou não. Por outro lado, é a presença da matéria que é a responsável pela geometria do universo. A geometria e a matéria estão relacionadas pelas equações de Einstein.

Algumas consequências dessa geometria influenciada pela matéria é a curvatura da luz quando ela passa por regiões de grande densidade de matéria. Também prevê a dilatação do tempo gravitacional, *redshift* e *blueshift* gravitacional, a recessão da órbita de Mercúrio e a existência das ondas gravitacionais.

8. O UNIVERSO EM EXPANSÃO

A discussão sobre o tamanho do universo começou a partir do final do século XVIII e meados do século XIX. Antes disso, pensava-se que nosso universo era composto pelo Sistema Solar e pelas estrelas em volta. Porém, alguns astrônomos começaram a cogitar a hipótese que certas nebulosas espirais poderiam ser 'outros universos'. Porém, outros astrônomos estavam convencidos que essas nebulosas não passavam de nuvens gasosas contidas dentro de nosso próprio universo (subtenda-se galáxia).

Shapley determinou o tamanho de nossa própria galáxia, a Via Láctea e a nossa localização em seu interior. Devido a um erro de Shapley, que superestimou o tamanho da Via Láctea, ele concluiu que as nebulosas espirais deveriam pertencer a nossa galáxia. Isso estava em oposição com os pensamentos de Curtis e os dois astrônomos começaram um famoso debate a



Figura 13: Edwin Hubble.

Fonte: Wikimedia Commons (2014).

respeito da natureza do universo na década de 1920. Finalmente, Hubble, ao analisar dados espectrométricos da galáxia de Andrômeda, concluiu que está estava bem além dos limites da Via Láctea e que era uma galáxia própria. A visão de que nosso universo estava confinado ao Sistema Solar e a um aglomerado de estrelas em seu torno chamado Via Láctea subitamente mudou para um universo muito maior, onde há miríades de galáxias semelhantes ou muito maiores que a nossa própria galáxia.

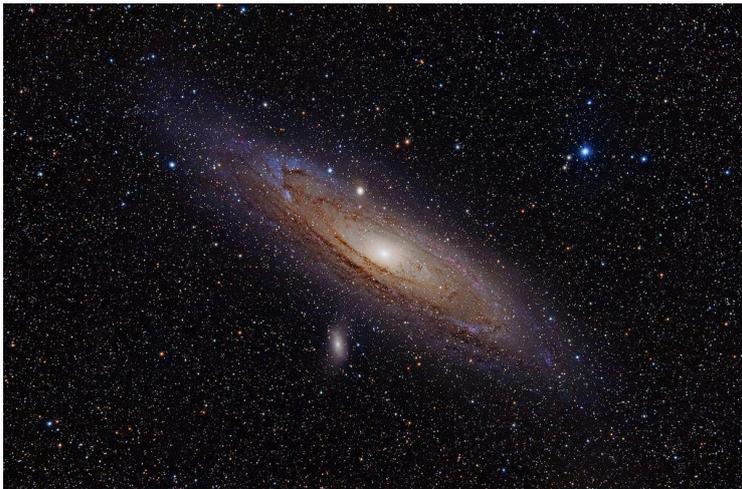


Figura 13: A galáxia de Andrômeda.

Fonte: Wikimedia Commons (2014).

Hubble descobriu que a velocidade de afastamento das galáxias, analisadas a partir dos *redshifts* apresentados por estas galáxias, é diretamente proporcional a suas distâncias em relação à Terra. Esta relação é conhecida hoje em dia como a Lei de Hubble. A descoberta da constante de proporcionalidade foi mais do

que apenas a descoberta de um valor, mas essa constante representa uma estimativa da idade do universo.

A expansão do universo estava condizente com a teoria da relatividade geral de Einstein. O próprio Einstein não admitiu um universo em expansão ao formular suas equações e, para conter a expansão prevista do universo, admitiu uma “constante cosmológica”.

Para medir a distância para essas galáxias, várias técnicas foram desenvolvidas. Uma delas é o método das cefeidas, onde uma estrela cefeída, que é uma estrela variável, é reconhecida em uma galáxia vizinha. Como é bastante conhecido o seu brilho, pode-se determinar sua distância.

9. MODELANDO O UNIVERSO

Pensando em um universo newtoniano, podemos imaginar que, já toda partícula exerce força gravitacional sobre outra partícula, em um tempo no futuro todas as partículas estarão unidas em um único ponto após um tempo muito grande, mas não infinito. Porém, se essas partículas estão se afastando uma das outras, podemos chegar a três conclusões: se a velocidade de expansão for muito grande, a gravidade não terá ação suficiente e as partículas nunca irão se reunir; Se a velocidade de expansão tiver um valor específico, pode ser que, no tempo infinito, a gravidade consiga vencer a velocidade de expansão e reunir todas as partículas em um único ponto; Ou se a velocidade de expansão não for suficiente para vencer a gravidade, as partículas se reunirão em um tempo maior ainda, mas também não infinito. A relatividade geral leva ao mesmo resultado. Há ainda outros cenários possíveis.

Dentro da relatividade geral, essas três possibilidades do destino do universo são traduzidas em três formas geométricas distintas: o universo que nunca irá se colapsar é chamado de um universo hiperbólico. Já o universo que se colapsa em um tempo infinito é chamado de universo plano. O universo que irá se colapsar em um tempo finito é chamado de um universo esférico. A um possível colapso do universo se denomina “Big Crunch”.

Porém, se alterarmos um parâmetro nas equações, a chamada constante cosmológica, podemos alterar os resultados radicalmente. De fato, com as observações realizadas ao longo dos últimos anos, concluiu-se que o universo está em expansão acelerada e é necessário aplicar modificações nessa constante cosmológica para readequar ao modelo de um universo em expansão acelerada.

REFERÊNCIAS

COMINS, Neil F.; KAUFMANN III, William J. **Descobrendo o Universo**. 8 ed. Editora Bookman. Porto Alegre. 2010

DA SILVA, Francisco E. **Anisotropias da Radiação Cósmica de Fundo e Vínculos em Modelos com Decaimento do Vácuo**. 2005. 109f. Dissertação (Mestrado de

Física) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

SILK, Joseph. **O Big Bang: A Origem do Universo**. 1 ed. Editora Universidade de Brasília. Brasília. 1980.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia e Astrofísica**. 2. ed. Editora.

APÊNDICE G: INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE CURSO



Estou realizando o meu Trabalho de Conclusão de Curso e espero que vocês ajudem, fornecendo as suas respostas mais sinceras possíveis. O seguinte questionário tentará extrair as impressões que vocês tiveram durante essas aulas sobre Astrofísica e Cosmologia. Não é necessário se identificar.

QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO CURSO

1) As atividades realizadas sobre Astrofísica e Cosmologia nessas semanas modificaram de alguma forma o que você pensa a respeito do universo?

a) Se por acaso sua resposta for afirmativa a essa questão, o que mudou para você? Consegue fornecer alguns exemplos?

b) Se por acaso sua resposta for negativa, talvez seja por que você já sabia de alguns conteúdos passados aqui. Diga com exemplos quais os conteúdos expostos aqui você já tinha conhecimento.

2) Falando de modo mais amplo, considerando as atividades realizadas sobre Astrofísica e Cosmologia, essas atividades realizaram alguma contribuição a cerca de seus conhecimentos sobre a Física em geral ou sobre alguma Ciência Natural?

3) Qual a sua visão a respeito do trabalho científico? O seu ponto de vista de como um cientista trabalha mudou após esta sequência sobre Astrofísica e Cosmologia?

4) Se alguém lhe perguntasse “Como que isso acontece?”, como você responderia?

5) Falando sobre suas experiências pessoais, essas atividades sobre Astrofísica e Cosmologia trouxeram alguma contribuição relevante para sua vida? Pode esboçar alguns exemplos?

6) Por que os modelos científicos são tão importantes para a ciência, especialmente para a Física? Consegue defender seus argumentos?

APÊNDICE H: INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DE CONTEÚDO

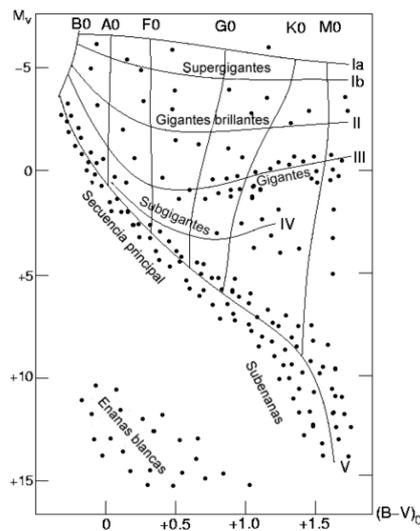


QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE CONTEÚDO

1) No filme *O Náufrago*, um empregado da FedEx, vivido por Tom Hanks, sofre um acidente aéreo e para em uma ilha desabitada no Pacífico Sul. Sozinho, ele precisa caçar peixes com uma lança para sobreviver. Aos poucos, ele aprendeu que, se mirar na cauda do peixe, acertará a sua cabeça. O conhecimento físico que é a base desse conhecimento instintivo é a:

- a) Polarização da luz;
- b) Refração da luz;
- c) Interferência da luz;
- d) Difração da luz;
- e) Reflexão da luz.

2) Analise o gráfico abaixo:



Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:H-R_diagram-ES.png

Esse gráfico representa o diagrama HR. No eixo horizontal, está representada a intensidade das estrelas: quanto mais afastado da origem do gráfico, menor será a luminosidade da estrela. No eixo vertical, está representada a massa da estrela: quanto mais afastada da origem do gráfico, mais massa a estrela terá.

É possível encontrar uma concentração de estrelas no gráfico, que formam uma faixa conhecida como a sequência principal. Com base nesse diagrama e nos conhecimentos obtidos durante das aulas de Astrofísica e Cosmologia, é possível afirmar que:

- se uma estrela possui mais massa, portanto sua gravidade será mais forte. Como consequência, mais acelerada será a nucleossíntese e mais luminosa será a estrela.
- quanto maior a massa de uma estrela, maior será o seu tamanho. Portanto, o número de planetas que orbitam essa estrela será maior e maior será a necessidade de alimentá-las com calor. Para isso, a estrela deverá ser mais luminosa.
- quanto menor a estrela, menor será a sua massa e mais hidrogênio ela terá para usar na reação de nucleossíntese. Como consequência, sua luminosidade será maior.
- As estrelas azuis são estrelas frias, pois o azul é uma cor fria. Por outro lado, as estrelas quentes são vermelhas, pois o vermelho é uma cor quente.
- As estrelas pequenas não contém hidrogênio e usam o hélio para se sustentar. Por isso que suas luminosidades são menores, pois a nucleossíntese do hélio fornece uma quantidade menor de energia do que a nucleossíntese do hidrogênio.

3) Sirius é a estrela mais brilhante do céu noturno. Porém, seu grande brilho é devido à proximidade da estrela em relação à Terra: a distância que separa os dois corpos celestes é de apenas 9 anos-luz (claro, em termos astronômicos). Para medir sua distância, é provável que os astrônomos tenham usado qual método de medição de distâncias astronômicas?

- a) Paralaxe;
- b) Deformidade do espaço devido à grande massa de Sirius;
- c) Cefeidas
- d) Brilho de supernovas tipo Ia;
- e) Radiação térmica do universo, que é pouco menos de 3 K.

4) Recentemente, um grupo de pesquisadores descobriram um certo tipo de polarização dos fótons remanescentes do *Big Bang*, conhecidas como a radiação cósmica de fundo. Essa polarização, supostamente produzida por ondas gravitacionais, poderia ser uma das maiores evidências do *Big Bang*. Outros pesquisadores logo colocaram em cheque a pesquisa desses cientistas, descredibilizando suas técnicas.

Em 2004, em uma carta aberta às pessoas da Terra, um grupo de cosmólogos acusou a comunidade científica de acreditar fielmente no *Big Bang* e desconsiderar qualquer outro modelo de universo. Esse grupo afirmou que a fé no *Big Bang* por parte da comunidade seria tão grande que os resultados discordantes seriam simplesmente ridicularizados e ignorados, em vez de questionar o modelo vigente.

Levando em consideração as duas situações descritas acima, podemos perceber que:

- a) Os resultados encontrados pelos cientistas são absolutos e desprovidos de erros e os modelos científicos são construídos inequivocadamente a partir desses dados.
- b) Os modelos construídos pelos cientistas tem como base a realidade e, devido a isso, nunca podem estar errados.
- c) Os cientistas se posicionam emocionalmente dentro de seus objetos de estudo e sempre estão a procura de novos dados para confirmar um modelo científico.
- d) Os cientistas se posicionam emocionalmente fora de seus objetos de estudo e sempre estão a procura de novos dados para falsear um modelo científico.
- e) A ciência nunca comete erros, mesmo quando cientistas estão em desacordo sobre qual modelo científico usar para explicar a realidade.

5) Edwin Hubble percebeu, no final da década de 1920, que as galáxias mais distantes possuem um *redshift* maior. Hubble usou esses dados para afirmar um modelo onde o universo se encontra em expansão e elaborou sua lei, que procura explicar:

a) que as cores das galáxias são diferentes quanto maior a distância delas em relação à Terra.

b) que o brilho das galáxias é menor quanto mais afastada for a galáxia.

c) que o tamanho de uma galáxia é maior quanto mais afastada for a galáxia da Terra.

d) que a galáxia possui uma maior velocidade de afastamento quanto mais afastada for a galáxia da Terra

e) que a temperatura de uma galáxia é maior quanto mais afastada for essa galáxia da Terra.

6) A estrela mais próxima da Terra, desconsiderando o Sol, é uma pequena anã vermelha chamada *Proxima Centauri*, localizada a 4,3 anos-luz da Terra. Apesar da proximidade, ela é invisível a olho nu devido a sua fraquíssima luminosidade. Porém, sua companheira, *Alpha Centauri*, é a estrela mais brilhante da constelação de Centauro, próxima à constelação do Cruzeiro do Sul. Caso a humanidade tivesse tecnologia suficiente para alcançar a estrela, a comunicação com a Terra ficaria comprometida, pois:

a) Não existe uma forma de criptografar as mensagens, pois as mensagens via rádio só podem ser criptografadas devido à presença da atmosfera da Terra.

b) Não existe nenhuma onda de rádio capaz de viajar 4,3 anos-luz.

c) O espaço entre a Terra e *Proxima Centauri* praticamente não tem matéria, ou seja, há apenas o vácuo e as ondas de rádio são incapazes de se propagar no vácuo.

d) As ondas sonoras transmitidas sofrem interferência no caminho entre a Terra e *Proxima Centauri*.

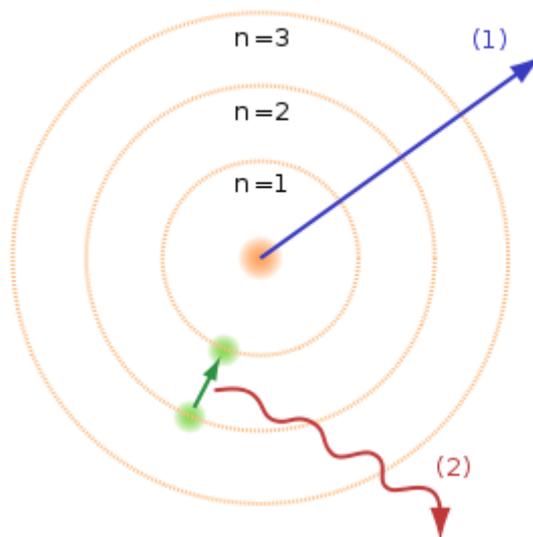
e) Além das ondas de rádio ter que percorrer em 4,3 anos a distância entre a Terra e *Próxima Centauri*, a intensidade dessas ondas é fraquíssima, pois a intensidade é inversamente proporcional à distância da comunicação ao quadrado.

7) Por séculos e séculos discutiu-se a natureza do Sol. Na mitologia grega acreditava-se que o Sol era uma bola de fogo carregada diariamente através dos céus na carruagem de Apolo. Durante a Idade Média, o Sol foi considerado como

uma janela para o glorioso mundo divino. Quando o conceito de conservação de energia surgiu, em meados do século XIX, questionou-se como um astro poderia fornecer tanto calor por muito tempo sem que sua energia se esgotasse rapidamente. Hoje sabemos que essa energia vem de:

- a) Energia de agitação das moléculas devido ao campo magnético instável do Sol;
- b) Nucleossíntese de quatro núcleos de hidrogênio em um núcleo de hélio, em sua maior parte;
- c) Energia residual da época em que os gases frios que formavam a nebulosa da qual o Sistema Solar nasceu se aglutinaram;
- d) Queima do hidrogênio e do oxigênio presente no Sol, formando vapor de água;
- e) Efeito Joule, pois já que o plasma possui elétrons desparelhados de seus núcleos, e ambos possuem cargas elétricas, quando elas estão em movimento e no contínuo choque mutuo, apresentam resistência elétrica.

8) Analise a figura abaixo:



Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bohr_atom_model_notext.svg

O fenômeno esquematizado acima, quando a Astrofísica é considerada, é a base científica de qual fenômeno?

- a) redshift
- b) espectro contínuo das superfícies estelares
- c) paradoxo de Olbers
- d) espectro descontínuo de gases quentes
- e) interferência de Michelson-Morley

9) O Sol, os planetas e todos os outros corpos menores do Sistema Solar surgiram a partir da aglutinação de gases contidos em uma nebulosa. Os gases frios, através da atração gravitacional, começaram a se aglutinar e um núcleo de maior densidade começou a se formar. Esse núcleo começou a esquentar devido à energia potencial original das moléculas constituintes dos gases da nebulosa. Antes que qualquer fusão nuclear ocorrer, esse núcleo é chamado de proto-estrela. Esse corpo celeste, em geral, é invisível a olho nu em seus estágios iniciais, pois:

- a) Não consegue ainda produzir fótons suficientes para sensibilizar o olho humano;
- b) Emite radiação eletromagnética em comprimentos de onda menores do que a luz violeta;
- c) Não existe nenhuma radiação térmica em corpos relativamente frios;
- d) Emite radiação eletromagnética em comprimentos de onda maiores do que a luz vermelha;
- e) O campo gravitacional na região do núcleo é demasiadamente grande para que a luz visível consiga deixar o sistema.

10) Ao visualizarmos um CD, DVD ou Blu-Ray contra a luz, percebemos que a luz refletida se apresenta com cores distintas, de forma bastante semelhante a um arco-íris. A separação ocorre porque, para se gravar um CD, DVD ou Blu-Ray, é necessário escavar por meio de um laser pequenos sulcos na camada de alumínio. Estes sulcos funcionam, ao serem comparados com um espectroscópio, como:

- a) feixes de luz
- b) lentes
- c) fontes produtoras de luz
- d) fendas
- e) prismas

11) Faça um texto de aproximadamente 15 linhas sobre tudo que você considera importante ou que seja de proveito pessoal sobre o que foi estudado nessas aulas de Astrofísica e de Cosmologia”.

APÊNDICE I: TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO DE TRABALHO ESCOLAR

Eu, _____, CPF _____, RG _____

Depois de conhecer e entender os objetivos, procedimentos metodológicos, riscos e benefícios da pesquisa, bem como de estar ciente da necessidade do uso do trabalho escolar, do aluno _____, especificado no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), AUTORIZO, através do presente termo, o pesquisador **Ramissés Feld Santos**, aluno do **curso de Licenciatura em Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, e seu orientador **professor doutor Marcos Antonio Florczak**, a analisar meu trabalho escolar, desenvolvido em sala de aula no âmbito do projeto “Ensino de Cosmologia Moderna nas Aulas de Física do Ensino Médio: Uma Sequência Didática Abordando Noções de Estrutura e Origem do Universo”, sem qualquer ônus financeiro a nenhuma das partes. Ao mesmo tempo, libero a utilização deste trabalho escolar para fins estritamente científicos e de estudos (livros, artigos, slides e transparências), em favor dos pesquisadores acima especificados, assegurando o sigilo nominal sobre sua participação, obedecendo ao que está previsto nas Leis que resguardam os direitos das crianças e adolescentes (Estatuto da Criança e do Adolescente – ECA, Lei Nº 8.069/1990), dos idosos (Estatuto do Idoso, Lei Nº 10.741/2003) e das pessoas com deficiência (Decreto Nº 3.298/1999, alterado pelo Decreto Nº 5.396/2004)

Campina Grande do Sul, ___ de _____ de _____.

Sujeito da Pesquisa

Responsável Legal

Pesquisador

Professor orientador

APÊNDICE J: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário, nas pesquisas relacionadas ao Trabalho de Conclusão de Curso “Ensino de Cosmologia Moderna nas Aulas de Física do Ensino Médio: Uma Sequência Didática Abordando Noções de Estrutura e Origem do Universo”, desenvolvido pelo pesquisador do curso de Licenciatura em Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ramissés Feld Santos, orientado pelo professor doutor Marcos Antonio Florczak, do Departamento Acadêmico de Física. Após ser esclarecido(a) sobre as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Sua participação não é obrigatória. A qualquer momento você pode desistir de participar e retirar o seu consentimento. Sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com a escola. Em caso de dúvida, você pode encontrar o Prof. Marcos Antonio Florczak no DAFIS da UTFPR pelo telefone (41) 3310-4880.

Informações sobre a pesquisa

A pesquisa que será realizada segue a temática relacionada à Astrofísica e a Cosmologia Moderna, mais especificamente a relação desses temas com a Física Moderna e Contemporânea. O principal objetivo é analisar a viabilidade de se inserir tópicos de Astrofísica e Cosmologia Moderna no Ensino Médio.

A pesquisa ocorrerá em duas etapas: a primeira será de natureza bibliográfica e pretende levantar informações e características a respeito do Ensino de Cosmologia Moderna no Brasil. Nessa parte, serão analisados trabalhos publicados em eventos relacionados ao Ensino de Física e de Ciências em geral, além de teses e dissertações.

A segunda etapa refere-se ao desenvolvimento de uma série de atividades relacionadas à Astrofísica e à Cosmologia Moderna em sala de aula. Os alunos assistirão a quatro aulas sobre a temática apresentada. Nessas aulas, serão analisadas as escalas de distâncias astronômicas, a espectroscopia astronômica, a expansão do universo e uma pequena introdução ao *Big Bang*.

O pesquisador estará envolvido nas atividades como regente da aula e ao mesmo tempo como observador, realizando as anotações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa.

Outros esclarecimentos

Por se tratar simplesmente de responder questionários e realizar atividades em sala de aula, essa pesquisa não trará nenhum risco ou prejuízo a você. As informações obtidas através dessa pesquisa são confidenciais e asseguramos o sigilo de sua participação. Os dados não serão divulgados de forma a possibilitar a sua

identificação. Você receberá uma cópia deste termo onde consta o telefone do pesquisador, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sobre sua participação sempre que julgar necessário.

Campina Grande do Sul, ___ de _____ de ____.

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios de participação na pesquisa e concordo com a participação do menor pelo qual sou responsável.

Responsável legal