

Universidade de São Paulo

Instituto de Física
Instituto de Química
Instituto de Biociências
Faculdade de Educação

**Tópicos de Astrofísica e Cosmologia:
uma aplicação de Física Moderna e
Contemporânea no Ensino Médio**

Ricardo Rechi Aguiar

São Paulo
2010

Ricardo Rechi Aguiar

**Tópicos de Astrofísica e Cosmologia:
uma aplicação de Física Moderna e
Contemporânea no Ensino Médio**

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e a Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Orientadora: Profa. Dra. Yassuko Hosoume

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Yassuko Hosoume

Profa. Dra. Rebeca Vilas Boas C. de Oliveira

Prof. Dr. Laerte Sodré Jr.

IF - USP

Instituto Federal-SP

IAG - USP

São Paulo
2010

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

**Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo**

Aguiar, Ricardo Rechi

Tópicos de astrofísica e cosmologia: uma aplicação de física moderna e contemporânea no ensino médio. – São Paulo, 2010

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências

Orientador: Profa. Dra. Yassuko Hosoume

Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1. Física – Estudo e Ensino; 2. Astrofísica – Estudo e Ensino; 3. Cosmologia - Estudo e Ensino; 4. Ensino Médio; 5. Física Moderna

USP/IF/SBI-045/2010

Para minhas três Marias: Ester, Sofia e Elisa,

Para meus pais,

com todo meu amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Profa. Dra. Yassuko Hosoume, pela confiança e perseverança inspiradoras. Por seu olhar educacional e sua disposição em me orientar. E também pelos puxões de orelha e cobranças, sem os quais este trabalho jamais teria sido realizado.

Às colegas de ensino e pesquisa, professoras Margareth Polido Pires Ferreira e Eliane Murrer, que embarcaram comigo na aventura de criar e desenvolver uma proposta de ensino de Física diferenciada. Este trabalho é também de vocês.

À direção e orientação pedagógica da Escola Nossa Senhora das Graças, pela oportunidade e visão educacional que proporcionaram a criação e aplicação de uma proposta de ensino de Física tão alternativa, além do financiamento para a divulgação destas ideias no SNEF 2007.

Aos meus queridos alunos e alunas da Escola Nossa Senhora das Graças, que forneceram o material de análise para este trabalho e compartilharam comigo momentos educacionais inesquecíveis.

À Profa. Dra. Rebeca Vilas Boas Cardoso de Oliveira e ao Prof. Dr. Laerte Sodré Jr., pelas contribuições feitas na qualificação que tanto engrandeceram o trabalho.

Aos amigos e amigas “de sempre”: Renata Ribeiro, Cristina Leite, Eraldo Oliveira, Marcelo Bonetti e Alexandre Gonçalves. Agradeço pelo incentivo e pelo ombro amigo, sempre presentes quando era necessário.

Aos professores do IF-USP, especialmente, Manoel Robilotta, João Zanetic e Maria Regina Kawamura, e a todos os colegas do “Corredor do Ensino”, da Escola Nossa Senhora das Graças e do Instituto Federal (IF-SP), que, de uma forma ou de outra, invariavelmente acabaram contribuindo e incentivando a realização deste trabalho.

À profa. Lúcia Regina Barbosa Zmekhol pelo auxílio com a língua inglesa e à Maria Raquel D. P. Dourado pela leitura crítica de partes do texto.

A Ailton, Helen e Thomas, sempre dispostos auxiliar ou explicar alguma burocracia.

Aos meus pais, Kleber e Belmira, pelo amor, pelo exemplo e pelo investimento em minha formação, que fizeram de mim um estudante, um educador e um pesquisador.

À minha companheira, Maria Ester, pelo amor e pela dedicação. Sem seu apoio, suas ideias e seu incentivo este trabalho nunca teria sido feito.

Às minhas filhas, Sofia Maria e Maria Elisa, que, mesmo sem saber, cederam parte do tempo de convivência comigo, importante em suas pequenas vidas, para as muitas horas que passei escrevendo este texto. E a Adarli, minha sogra, que cuidou delas sempre com muito amor, permitindo-me tranquilidade durante esta ausência.

À população paulista que, através dos impostos, investiu em minha graduação e pós-graduação. Este trabalho é parte do retorno, do meu ponto de vista, obrigatório, que todo privilegiado estudante da Universidade de São Paulo deve dar para aqueles que permitiram sua formação. A todos vocês, o meu muito obrigado.

RESUMO

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

O mundo é moldado pela tecnologia: computadores, celulares, internet e vários outros equipamentos são responsáveis por mudanças nos hábitos de milhões de pessoas. Além disso, o conhecimento científico atual nos apresenta um Universo gigantesco e rico em figuras quase mitológicas, como aglomerados estelares e galácticos, expansão do espaço-tempo e um surgimento universal cataclísmico. E, no núcleo de todas estas inovações e informações, se encontra o conhecimento que chamamos de Física Moderna e Contemporânea. Seria de se esperar que o ensino de Física na escola média estivesse recheado de assuntos desta natureza, auxiliando os educandos a explorar e interpretar o mundo em que vivem e entender a ciência envolvida por trás destes equipamentos e descobertas. Porém, tais conteúdos ainda são a minoria dos tópicos abordados nesta disciplina. Este trabalho se insere neste contexto, procurando colaborar com a incorporação de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, através da apresentação do processo de construção de uma proposta curricular de Física diferenciada, aplicada a partir do ano de 2006 em uma escola particular paulistana. Nele explora-se o desenvolvimento e a aplicação da proposta que introduziu alguns tópicos de Astrofísica e Cosmologia no segundo semestre do curso da 1ª série do ensino médio da escola no ano de 2008. Observou-se, através de técnicas da Análise de Conteúdo, a aprendizagem de conceitos e a apropriação de certos elementos entendidos como fundamentais na proposta: alterações na visão dos educandos sobre o mundo e sobre o conhecimento físico. Percebeu-se, ainda, que alguns deles traçam correlações entre os conceitos ensinados e situações de seu cotidiano, apontando para uma experiência de ensino significativa.

Palavras-chave: Física; Ensino Médio; Astrofísica; Cosmologia; Física Moderna.

ABSTRACT

Aguiar, Ricardo Rechi. **Topics for astrophysics and cosmology: a application of modern and contemporary physics in high school**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

The world is shaped by technology: computers, phones, internet and other equipment are responsible for habits changes of millions of people. In addition to this, the scientific knowledge available today indicates a huge Universe, rich in mythological figures, such as star and galaxies clusters, the expansion of space-time and a cataclysmic universal rise. At the core of these innovations and information is Modern and Contemporary Physics. We would expect the middle school teaching of physics to be filled with matters of this nature, allowing students to explore and interpret the world and to understand the science behind these devices and discoveries. However, these contents are still the minority of the topics covered by this course. This paper fits in this context, aiming at collaborating with the incorporation of subject matters from Modern and Contemporary Physics in high school, through the presentation of the construction of a differentiated curriculum in Physics, applied in 2006 at a private school in Sao Paulo. We explore the development and implementation changes in the proposal which introduced some topics for Astrophysics and Cosmology in the second semester of a secondary education school's first grade, conducted in 2008. Using techniques of Content Analysis, the learning of concepts and elements seen as essential in the proposal such as changes in students' vision about the world and physical knowledge arise. The material analysis has allowed us to presume the ownership of some these elements. It has also been noticed that some students establish the relationship between the concepts learned and everyday life situations, pointing at a significant learning experience.

Keywords: Physics; High school; Astrophysics; Cosmology; Modern Physics.

SUMÁRIO

1 – Introdução.....	9
1.1 - Promessas não cumpridas - Uma experiência pessoal de Física no ensino médio.....	10
1.2 - O contexto deste trabalho	13
2 – Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.....	22
2.1 - A reformulação do Ensino Médio brasileiro nas duas últimas décadas.....	23
2.2 - A Física Moderna e Contemporânea na escola média.....	32
2.3 - O estado da arte da FMC no Estado de São Paulo	39
2.4 - Astrofísica e Cosmologia na escola.....	43
3 – A construção de uma nova proposta de Física e a inserção de Tópicos de Astrofísica e Cosmologia na 1ª série do Ensino Médio.....	52
3.1 - O ambiente que produziu a proposta	53
3.2 - Construindo a proposta curricular de Física.....	60
3.3 - Finalmente, nasce a proposta.....	71
3.4 - A Grade Conceitual da proposta para o Ensino Médio	76
3.5 - Recorte da pesquisa e a reconstrução da 1ª série: inserindo a Astrofísica e a Cosmologia.....	82
4 – Astrofísica e Cosmologia na 1ª série do Ensino Médio	92
4.1 – Desenvolvimento do curso	93
4.2 – Bloco Temático I - Tópicos de Astronomia	96
4.3 – Bloco Temático II - Tópicos de Astrofísica.....	109
4.4 – Bloco Temático III - Tópicos de Cosmologia.....	118
5 – Avaliando aspectos da proposta.....	123
5.1 – A Análise de Conteúdo como metodologia de análise das respostas	127
5.2 – Análise do questionário de avaliação do curso.....	129
5.3 – Análise da prova bimestral	137
5.4 – Articulando outros resultados.....	149
6 – Considerações Finais	152
Referências.....	163
Apêndices	166
Apêndice 1 – O Projeto Ecossistemas Costeiros	167
Apêndice 2 – Atividades realizadas e alguns de seus resultados	170
Apêndice 3 – Avaliação Individual do 4º Bimestre	183
Apêndice 4 – Questionário de Avaliação do Curso.....	190
Apêndice 5 – Listas de Exercícios - Monitorias	191

1 – Introdução

*Eu experimento o futuro
E você só lamenta não ser o que era
E o que era?
Era a seta no alvo
Mas o alvo na certa não te espera
(Moska)*

1.1 - Promessas não cumpridas - Uma experiência pessoal de Física no ensino médio

As influências para a escolha temática e elaboração de um trabalho autoral geralmente provém de várias fontes e ocasiões. E a inspiração para esta dissertação surgiu já durante meu ensino médio e se estendeu, posteriormente, durante minha graduação. Entendo, portanto, que em sua abertura devo fazer uma breve incursão pelos fatos que me trouxeram até aqui.

A sabedoria popular garante que boas e más lembranças sempre ficam. Mas há fatos que, apesar de sabermos tê-los vivido, sequer podem ser chamados de lembranças. São impressões que não ficaram, são “lembranças cinzentas”, nem claras nem escuras. Conheço pessoas que se lembram com detalhes de cada ocasião; eu não sou assim, minha memória é muito seletiva, isto é, aquilo que não me foi relevante raramente faz parte de minhas lembranças. E, infelizmente, é uma “lembrança cinzenta”, que tenho da disciplina de Física no meu ensino médio (que na época se chamava Segundo Grau). Sei que passei por ela, sei que devo ter visto algo, mas não me lembro de quase nada. Minha única lembrança vem da primeira

aula do primeiro ano do ensino médio: a professora apresentando o curso. Lembro-me dela falando da importância da Física para o estudo do planeta, das estrelas e para nossa compreensão do Universo. Foi incrível, fiquei fascinado! E depois... Nada. Nem uma lembrancinha de uma aula que me deixasse extasiado, nem sequer perturbado. A Física passou por mim e não deixou marcas, foi como se eu só tivesse assistido a uma aula... aquela primeira.

Mas porque aquela professora, nas suas aulas, não conseguiu transmitir essa “física fascinante” da primeira aula? O que aconteceu com o curso que deveria “desmistificar” o universo? Ele foi transformado em um conjunto de fórmulas e exercícios que deveriam ser resolvidos e treinados para aplicação em um conjunto de provas posteriores. Foi a isso que se reduziu o “maravilhoso mundo da física” durante meu ensino médio. Acabei prestando vestibular para um curso de Humanas (decepcionante) e me afastei das ciências naturais por um tempo. Alguns anos mais tarde, o “chamado da ciência” me pegou e entrei no bacharelado de Geofísica.

Fui realmente “fisgado pela Física” na universidade, fazendo as disciplinas básicas do curso de Geofísica. Lembro com detalhes das aulas de certos professores que, entusiasmados ou não, procuravam ensinar àquele bando de jovens a estrutura básica do conhecimento físico. Recordo-me com carinho da primeira “integral” resolvida por mim em uma aula de Física I. Mas, foi o curso de eletromagnetismo quem deu o “golpe de misericórdia” e me arrastou para o mundo da Física de uma vez por todas. As quatro equações de Maxwell apontavam para detalhes da estrutura do universo com os quais eu nunca havia me deparado antes: simetrias espaciais e temporais, simetrias em equações diferenciais, o inverso do quadrado da

distância “falando” sobre geometrias esféricas... Era isso que aquela minha professora de Física do ensino médio tentara dizer, sem conseguir: a Física tinha algo de mágico.

Essa minha “descoberta pessoal” da Física foi acoplada a uma vocação para a docência, revelada no trabalho comunitário de muitos anos e numa experiência docente de apenas um semestre na escola pública. Este conjunto de fatores se somou traçando um novo caminho profissional para mim: não seria mais um geofísico, me tornaria um professor de física.

Na Licenciatura em Física algumas disciplinas me aproximaram do universo da produção do conhecimento científico na área de ensino de Física. Era outra área completamente nova para mim: planejar, avaliar, criar e criticar... Tudo isto sendo convertido em conhecimento para o ensino das ciências. Um ambiente que tentava, e por vezes conseguia, dar conta de várias das situações-problema apresentadas durante as discussões educacionais fomentadas pelo curso. Hoje percebo que a vontade de me aprofundar neste mundo e, portanto, a vontade de fazer uma pós-graduação na área surgiu pelas discussões e reflexões provocadas por tais disciplinas.

O caminho que me trouxe até aqui foi tortuoso, mas não deixou de ser prazeroso. E, graças a essa caminhada, passei a entender um pouco mais o conhecimento que me dispus a aprender, pesquisar e ensinar e, ao mesmo tempo, passei a me conhecer melhor. A estrada, porém, não terminou. Aliás, ela aparenta estar apenas começando.

1.2 - O contexto deste trabalho

Boa parte dos trabalhos voltados para o Ensino de Física está diretamente ligada à insatisfação de professores com os resultados obtidos pelos estudantes nos cursos ministrados nesta área ou, indiretamente, pela apropriação de facetas desta insatisfação por parte dos pesquisadores em Ensino. Cada um deles procura, a seu modo, abordar o problema apontando entraves ou sugerindo soluções. Alguns olham para partes específicas do conteúdo de física ensinado (como SALÉM, 1986), outros para a formação dos professores (como PIETROCOLA, 2005) ou ainda para o desenvolvimento de novas metodologias de ensino (como CARVALHO, 1999 ou OLIVEIRA, 2004). O presente trabalho não escapa deste olhar: ele se baseia na mesma sensação de incompletude que o tradicional processo de ensino de Física deixa naqueles que se atrevem a entrar nesta aventura. Procuramos explorar aqui, de forma genérica, a construção de uma nova proposta de Física, focada na quebra da “tradição” da apresentação de conteúdos na educação média, com destaque especial para a aplicação da mesma no segundo semestre de um curso de 1º. Ano do Ensino Médio, no qual os conteúdos centrais são temas de Física Moderna e Contemporânea.

Sabe-se que a maioria absoluta dos atuais livros didáticos de Física para o Ensino Médio segue uma tradicional apresentação sequencial de conteúdos, Mecânica-Termodinâmica-Óptica-Eletromagnetismo, que é, na realidade, uma imitação da estrutura temática dos cursos básicos de Física em nível Superior. Esta sequência é reproduzida de forma acrítica por professores de ensino médio nas salas de aula,

seja pelo fato de terem tomado contato, em sua formação, com tal forma de apresentação de conteúdos, seja porque grande parte das provas para ingresso em universidades públicas e particulares ainda apresenta tal estrutura em seus programas de conteúdo mínimo exigido para estudo.

A proposta que apresentamos baseia-se na reflexão de que a forma de ensinar física na educação média, fundamentada na apresentação sequencial tradicional de conteúdos, pode gerar grandes dificuldades de compreensão, para quem estuda Física deste modo, sobre o caráter estrutural do conhecimento físico e sobre como cada um destes “pedaços” se junta com outro, formando uma estrutura, ao menos parcialmente, coerente. Esta forma de apresentação tradicional de conteúdos de física pode provocar uma visão fragmentada tanto de uma teoria física como de todo o conhecimento produzido por esta ciência. Concordamos com Robilotta (1985, p.IV-5), quando este afirma que

O caráter estrutural do conhecimento físico faz com que a familiaridade com as partes não garanta a compreensão do todo. Nos cursos de física é comum que nos concentremos nos aspectos locais do conhecimento e deixemos aos estudantes a difícil tarefa de perceber um nexos no conjunto, de organizar a matéria dada; raramente eles conseguem fazer isso. (...) é importante que o ensino facilite o acesso dos estudantes tanto ao trabalho do artesão como ao do arquiteto.

Robilotta apresenta sua crítica no contexto da estrutura conceitual de uma teoria física e nós a estendemos ao conjunto das teorias, à estrutura da física, que, pela forma como usualmente é apresentada ao educando, na maioria das vezes, provoca uma visão de desarticulação e aparente independência de suas partes.

Neste trabalho buscamos um olhar mais *integralizante* para o ensino da *Física*. O sentido dado à palavra *Integral*, aqui empregada, não está ligado à totalidade, pois isso seria tarefa hercúlea. O termo integral é entendido como algo *a que não falta*

nada de essencial, ou seja, ambicionamos um Ensino de Física que permita ao estudante ver a Física como um corpo coeso de conhecimentos, apreendendo seus elementos fundamentais. A integralidade que buscamos passa por um olhar distanciado do conhecimento e, ao mesmo tempo, certo aprofundamento que permita ao educando entender as nuances das conexões teóricas envolvidas. Pretendemos auxiliá-lo a “juntar os pedaços”, que parecem não se comunicar, através de uma abordagem que favoreça esse olhar: o caminho escolhido passa, obrigatoriamente, por uma mudança na forma e na sequência de apresentação dos conteúdos de Física no Ensino Médio.

Desta forma, neste trabalho, apresentamos a aplicação e análise de uma proposta curricular alternativa para o ensino médio, realizada em 2008 em uma escola particular paulistana, com ênfase na inserção de alguns elementos de Física Moderna e Contemporânea em sua primeira série, os tópicos de Astrofísica e Cosmologia, cuja intenção era, através de uma abordagem temática, oferecer uma proposta educacional *integralizante* a um conjunto de conceitos e elementos do conhecimento físico.

Outra faceta de uma proposição educacional *integralizante* é que ela ultrapassa os limites da Física: ela pode permitir ao educando a elaboração de uma “nova metodologia” de olhar o mundo e os conhecimentos com que tenha contato, caso ele consiga transferir as estratégias fornecidas por uma proposta deste tipo (o jogo entre o olhar distanciado sobre o conhecimento e o aprofundamento; e a busca pelas conexões teóricas envolvidas) para outras situações em sua vida escolar e

cotidiana, causando uma mudança em seu olhar sobre conhecimento, resultando em uma educação verdadeiramente significativa.

A opção temática foi motivada por quatro fatores principais: a atração que a Astronomia causa no imaginário coletivo e em especial no dos jovens educandos; a possibilidade de aplicação e aprofundamento dos modelos físicos estudados no curso de Física elaborado para a escola; a perspectiva de se inserir, através do tema, conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no currículo do ensino médio; e, finalmente, o fascínio pessoal do autor deste trabalho pelo tema.

De formas diferentes, mas partindo de uma mesma essência comum, que é o desejo intrínseco à humanidade de entender sua origem e seu destino, a maioria das pessoas se sente fascinada pela Astronomia e pelas explicações que ela procura e propõe. Na juventude esta atração parece se intensificar e nada mais justo que a escola se debruçar sobre este assunto. Esta conclusão também aparece expressa nos PCN+ (BRASIL, 2002, p.78):

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

Este tipo de entendimento leva ao que chamamos de uma “visão cósmica” ou ao menos “visão planetária da humanidade”, posto que na sociedade atual, a palavra sustentabilidade ainda parece carecer de significado: a nossa civilização e nossa convivência com este planeta são, hoje em dia, insustentáveis. Uma visão planetária

ou cósmica do ser humano se faz fundamental para constituirmos futuras gerações política, cultural e ambientalmente “corretas”. Porque se nós, seres humanos, compartilhamos com todos os demais seres vivos a mesma atmosfera, os mesmo oceanos, enfim, a mesma pequena rocha que gira ao redor do Sol, é imprescindível percebemos que somos apenas passageiros vivendo “dentro da placenta do planeta azulzinho¹”. E para que este tipo de visão da humanidade se estabeleça, acreditamos ser importante também que as pessoas tenham noção das escalas de tempo envolvidas na formação do nosso planeta, do Universo e do surgimento da vida humana na Terra. Acreditamos ser fundamental que os educandos compreendam que não somos o “centro” da história da Terra ou do Universo. E, através da compreensão das escalas de tempo envolvidas na história universal, pode-se perceber que toda história humana é apenas uma fração do tempo de existência do Universo, ou seja, “acabamos de aparecer” nesta história. Espera-se que tal entendimento leve a humanidade a refletir sobre algumas atitudes “planetariamente egocêntricas” que homens e mulheres têm tomado nos últimos séculos e provoque uma necessária mudança de postura, para que, enquanto civilização dominante, possamos cuidar de nosso planeta, pensando nas futuras gerações.

Entender mais sobre nosso planeta e o universo é, pois, dar um grande passo na conquista pessoal e coletiva de uma visão cósmica ou ao menos planetária da humanidade. E a escola, ao discutir estes temas, contribui de forma fundamental para que esta forma de enxergar o mundo se consolide.

¹ Trecho da música “Tribalismo”, de autoria dos Tribalistas: Arnaldo Antunes, Carlinhos Brown e Marisa Monte.

Além disso, a característica intrinsecamente interdisciplinar da Astronomia permite que, através de seu estudo, se desenvolva um grande diálogo entre as várias áreas do conhecimento humano e em especial das ciências naturais. A Física é especialmente privilegiada pela abertura disciplinar deste tema, pois esta ciência praticamente “nasceu” dialogando com a Astronomia. No caso específico do olhar deste trabalho, podemos destacar as possibilidades que este tema estruturador permite com relação à inserção de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea do ensino médio, como novamente poder ser visto nos PCN+ (BRASIL, 2002, p.78, grifo nosso):

Nessa abordagem, ganha destaque a interação gravitacional, uma vez que são analisados sistemas que envolvem massas muito maiores que aquelas que observamos na superfície da Terra. **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.

Ou seja, através destes temas permite-se que o educando perceba que a conexão entre as escalas microscópicas das partículas elementares e as gigantescas escalas universais do reino das galáxias provém do desenvolvimento do conhecimento do mundo proporcionado pela Física. E tal conexão decorre de um conhecimento elementar da estrutura da matéria, da evolução estelar e da cosmologia. Portanto, a opção pela inserção de tópicos de Astrofísica e Cosmologia na grade curricular do curso também foi *suleada*² por estas questões.

Deve-se acrescentar outro fator que motivou a inserção do tema Astronomia na estrutura do curso: desde antes do início da construção da proposta, eram

² O termo “sulear”, citado por Paulo Freire em seu livro *Pedagogia da Esperança*, é uma proposta do físico Márcio D’Olme Campos, para nós que vivemos no hemisfério sul, em contraposição ao termo “nortear” usualmente empregado no hemisfério norte (ver FREIRE, 2003, p.218-219).

promovidas Noites de Observação Astronômica, realizadas durante um estudo do meio da 1ª série do ensino médio da escola-alvo, o Projeto Ecossistemas Costeiros (PEC), onde os educandos tomavam contato com instrumentos de observação astronômica e realizavam observações de estrelas duplas, aglomerados e planetas. Durante tais atividades, a simples observação da Via Láctea no céu e a compreensão do seu significado em termos cósmicos (a vista do plano de nossa galáxia, observado a partir da Terra), somada à visão de astros nunca antes observados “com seus próprios olhos”, possibilitaram experiências significativas para a grande maioria deles. E episódios como estes não poderiam ser ignorados quando da construção de uma proposta curricular de Física.

Por fim, como último elemento desta opção temática, a astronomia sempre foi um objeto de encantamento e estudo para o autor, acompanhando-o desde sua infância. Na graduação com um maior conhecimento sobre o tema, este passou a influenciar fortemente suas opções de leitura e pesquisa³. E, naturalmente, a preferência por tal tema acabou permeando suas propostas e atividades educacionais.

No capítulo 2 deste trabalho fazemos um breve levantamento bibliográfico envolvendo a Física Moderna e Contemporânea (FMC) na educação média, passando pelas alterações na legislação brasileira provocadas pela nova Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB), promulgada em 1996, e pelas reformulações curriculares propostas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM). Investigamos algumas propostas e projetos no ensino de Física, envolvendo conteúdos de FMC, que foram ou ainda são aplicadas no Brasil, com

³ O tema da monografia de conclusão do curso de graduação do autor foi a análise de algumas aplicações educacionais do estudo do Campo Magnético Terrestre.

certo destaque para aquelas que foram desenvolvidas no estado de São Paulo. Ainda neste capítulo, apresentam-se algumas proposições educacionais onde aparecem tópicos de Astrofísica e Cosmologia, seja na aplicação destes conteúdos na escola, seja na importante tarefa de formar educadores em tais temas.

O capítulo 3 apresenta a estrutura curricular de uma nova proposta de Física no Ensino Médio e seu processo de construção. São descritas e justificadas as escolhas dos conteúdos de Física para as três séries do ensino médio e as suas respectivas estruturações conceituais. No final do capítulo são apresentados os conteúdos de FMC introduzidos na 1ª série do ensino médio e é mostrada a proposta de inserção de tópicos de Astrofísica e Cosmologia, recorte da pesquisa dessa dissertação.

A implantação dos Tópicos de Astrofísica e Cosmologia, no segundo semestre da 1ª série do ensino médio do curso de Física, é apresentada no capítulo 4. No qual são descritas as aulas elaboradas para cada um dos blocos temáticos criados para organizar a proposta, explicitando seus objetivos e as estratégias desenvolvidas para atingi-los.

No capítulo 5, procura-se levantar elementos que permitam a avaliação de alguns aspectos da proposta, buscando perceber o grau de compreensão que os educandos tiveram dos conceitos trabalhados na proposta de Tópicos de Astrofísica e Cosmologia e verificar se ocorreu alguma das mudanças que o curso procurava fazer em sua visão sobre o mundo e o conhecimento físico. Explicitam-se os instrumentos utilizados e a metodologia de análise escolhida, a Análise de

Conteúdo, a partir da qual são forjadas algumas articulações entre as respostas dadas, pelos educandos que passaram pela proposta, aos instrumentos de análise.

Certas considerações sobre a proposta e a análise elaborada são feitas no capítulo 6, onde articulamos os desejos embutidos na elaboração da proposta com os resultados observados na análise dos instrumentos de avaliação.

2 – Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

Nas últimas décadas os tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) começaram a fazer parte de diversas propostas, nacionais e internacionais, para o ensino de Física no Ensino Médio. No Brasil, parte deste movimento foi provocada por uma mudança na legislação educacional e outra parte por uma insatisfação dos próprios educadores com relação à ausência destes conteúdos, tão importantes e presentes na vida atual, nas propostas curriculares correntes.

Acreditamos que uma breve investigação destes elementos pode auxiliar a situar as propostas de nosso trabalho no contexto atual da educação científica.

2.1 - A reformulação do Ensino Médio brasileiro nas duas últimas décadas

Passaram-se, respectivamente, quatorze, doze e onze anos das publicações da Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB), da Resolução no. 3/1998 da Câmara de Educação Básica do Conselho Nacional de Educação (CEB/CNE) que instituiu as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM) e dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM). Nestes três documentos foram lançados os fundamentos de uma reformulação no Ensino Médio do país, que promoveu desde uma nova visão sobre os objetivos do Ensino Médio até uma mudança no enfoque disciplinar tradicionalmente atribuído a este nível de ensino.

A LDB estabeleceu os parâmetros seguidos pelos demais documentos oficiais de ensino a partir de então. Em primeiro lugar, o Ensino Médio passou a fazer parte da

chamada Educação Básica, juntamente com a Educação Infantil e o Ensino Fundamental, ganhando um novo status de obrigatoriedade (mesmo que “progressiva”, como aparece na lei) que até aquele momento não lhe era assegurado. E, nesta mesma lei, traçou-se um novo conjunto de objetivos para a educação básica, e desta forma para o Ensino Médio, que a partir daquele momento deveria “desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores” (BRASIL, 1996, Art.22). Ou seja, segundo esta nova visão, o Ensino Médio deveria ser desatrelado da educação simplesmente propedêutica, que era hegemônica até aquele momento.

Entendemos as mudanças propostas pela nova legislação como progressistas, visto que indicavam uma maior democratização do acesso ao conhecimento, em especial ao conhecimento científico, para os filhos da classe trabalhadora brasileira. Infelizmente este avanço ainda hoje não foi totalmente implementado, pois existe uma inércia educacional que deve ser suplantada para que ocorra a real aplicação das propostas da LDB.

No caso específico do Ensino Médio, seus objetivos foram dados pela redação do Artigo 35 da LDB:

O ensino médio, etapa final da educação básica, com duração mínima de três anos, terá como finalidades:

I - a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos;

II - a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;

III - o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;

IV - a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.
(Ibidem, Art.35)

E, em especial, olhando para a área das Ciências Naturais, foi definida nesta legislação a obrigatoriedade do “conhecimento do mundo físico e natural” (Ibidem, Art.26) no currículo da base nacional comum dos ensinos fundamental e médio, garantindo-se desta forma a toda população nacional o direito a uma educação científica. A lei também determina que o currículo do Ensino Médio deva destacar “[...] a educação tecnológica básica, a compreensão do significado da ciência, das letras e das artes; o processo histórico de transformação da sociedade e da cultura; a língua portuguesa como instrumento de comunicação, acesso ao conhecimento e exercício da cidadania” (Ibidem, Art.36) e, finalmente, no parágrafo 1º deste mesmo artigo ela decide que os conteúdos, as metodologias e as formas de avaliação devem ser organizados de tal forma que, ao final do ensino médio, o educando demonstre domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna (Ibidem, Art.36). Desta forma, a LDB apontava para uma mudança na estrutura curricular a ser impetrada pelas escolas de educação média e esta mudança foi delineada por outros dois instrumentos governamentais: as DCNEM e os PCNEM.

As Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, DCNEM (BRASIL, 1998), regulamentaram as mudanças propostas pela LDB, propondo uma transformação radical na estrutura curricular da educação média, a começar por indicar um conjunto de eixos estruturadores dos currículos do Ensino Médio, baseados nos princípios pedagógicos da Identidade, Diversidade e Autonomia, da Interdisciplinaridade e da Contextualização. Elas reorganizaram a base nacional

comum dos currículos do Ensino Médio em três Áreas do Conhecimento: Linguagens, Códigos e suas Tecnologias, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias e Ciências Humanas e suas Tecnologias. E, enfim, elas acabaram com a dicotomia entre a formação geral e a preparação básica para o trabalho que ocorria até aquele momento na educação média, o que na prática significava: educação propedêutica para os filhos das classes mais ricas e ensino técnico para os filhos das classes trabalhadoras.

A nova concepção para o ensino de Ciências Naturais da educação média proposta pela LDB foi completada com a publicação dos PCNEM e mais tarde, em 2002 e 2006 com a apresentação, respectivamente, das Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (PCN+) e das Orientações Curriculares para o Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (OCEM). Estas três publicações (PCNEM, PCN+ e OCEM) procuram formar um conjunto documental que vise facilitar a implementação das propostas expressas na LDB e nas DCNEM, ou seja, buscam tornar mais “palatáveis” aos educadores suas sugestões. Na prática, as OCEM são uma retomada de discussões sobre os temas propostos nos documentos anteriores, com um viés mais focado na compreensão do diálogo dos conteúdos curriculares com as habilidades e competências de cada área. Assim nos concentraremos em analisar as influências dos PCNEM e dos PCN+ na formação do currículo de Ciências Naturais da escola média.

Vários autores já se propuseram a apresentar os aspectos positivos e negativos dos PCNEM e PCN+ (KAWAMURA e HOSOUME, 2003) e discutir as dificuldades de sua

implementação (RICARDO e ZYLBERSZTAJN, 2002 e RICARDO e ZYLBERSZTAJN, 2007), acreditamos, porém que o importante de se destacar aqui são as contribuições de tais documentos a um novo jeito de pensar a estrutura curricular da Física no Ensino Médio, com especial destaque para os elementos de Física Moderna e Contemporânea.

Ao deslocar o foco educacional dos conteúdos disciplinares para as Habilidades e Competências, os PCNEM (BRASIL, 1999) procuraram reorientar os objetivos da educação média brasileira, promovendo um debate em torno das atuais necessidades educacionais e dos desafios apresentados por uma civilização globalizada. Uma universalidade que, como afirmava Milton Santos (*Por uma outra globalização*, 2000), é de fato percebida pelas pessoas e não apenas teorizada pelos filósofos e que portanto deve ser encarada como pano de fundo de qualquer proposta educacional contemporânea.

Apesar de não ficar clara, numa leitura preliminar dos PCNEM, a origem dessa mudança de foco (dos conteúdos disciplinares para as habilidades e competências), percebemos que ela antecipa a visão educacional dominante no início da década de 2000, que se fazia presente em documentos de instituições de fomento à educação, como a UNESCO (*Educação: um tesouro a descobrir*, 1996), e que mais tarde viria a se tornar referência nos mais diversos instrumentos de avaliação de grande amplitude, como o SAEB (o Sistema Nacional de Avaliação da Educação Básica, SAEB, foi aplicado pela primeira vez em 1990 e é repetido a cada 2 anos), o PISA (o PISA é um programa internacional de avaliação comparada desenvolvido e coordenado internacionalmente pela Organização para Cooperação e

Desenvolvimento Econômico, OCDE, e foi aplicado pela primeira vez no Brasil no ano 2000), o ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) e o ENCCEJA (Exame Nacional de Certificação de Competências de Jovens e Adultos).

Acreditamos que uma grande contribuição dos PCNEM a uma revisão curricular da Física no ensino médio se fez através de uma crítica ao tradicional ensino desta disciplina:

O ensino de Física tem-se realizado freqüentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas. Apresenta o conhecimento como um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como a de Galileu, Newton ou Einstein, contribuindo para que os alunos concluam que não resta mais nenhum problema significativo a resolver. Além disso, envolve uma lista de conteúdos demasiadamente extensa, que impede o aprofundamento necessário e a instauração de um diálogo construtivo.

PCNEM (BRASIL, 1999, parte III, p. 22)

Desta forma os PCNEM acenavam para uma necessária mudança curricular na educação científica até então praticada. De acordo com este documento o ensino de Física na educação média não se bastava por si só e carecia de novos objetivos. Segundo ele, era “[...] preciso rediscutir qual Física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e uma formação para a cidadania mais adequada.” (Ibidem, parte III, p. 23).

Os PCN+, por sua vez, fizeram uma grande contribuição à mudança curricular no ensino de Física da educação média. Acreditamos que tal contribuição está ligada,

principalmente, a duas sugestões presentes neste documento: a exemplificação das competências propostas para o ensino desta disciplina; e a proposição dos chamados Temas Estruturadores.

Com relação à exemplificação das competências propostas para o ensino de Física, o próprio PCN+ afirma que elas buscavam apenas

[...] dar-lhes um sentido mais concreto, discutindo possíveis encaminhamentos e suas diferentes compreensões, ressaltando os aspectos que as tornam significativas por meio de situações que as exemplificam.
(BRASIL, 2002, p.62)

Porém, na prática, serviu para tornar mais visíveis as propostas apresentadas nas competências dos PCNEM e mostrar que não era necessário “jogar fora o bebê junto com a água do banho”, pois muito do que já se fazia ou buscava fazer no ensino médio era essencial à Física, porém carecia de objetivos que, de fato, conectassem aquele conhecimento à vida cotidiana. Ficava claro, então, que era necessário atribuir sentido ao conteúdo que se buscava ensinar.

Os Temas Estruturadores foram uma inovação bem-vinda, pois sinalizavam possíveis articulações entre conhecimentos e competências, transformando-se “em elementos estruturadores da ação pedagógica” (Ibidem, p.69), isto é, organizavam os conteúdos físicos em “divisões de conhecimentos” a serem trabalhadas na escola. Os PCN+ sugeriram seis temas estruturadores: 1 - Movimentos: variações e conservações; 2 - Calor, ambiente e usos de energia; 3 - Som, imagem e informação; 4 - Equipamentos elétricos e telecomunicações; 5 - Matéria e radiação; e 6 - Universo, Terra e vida. E procuraram deixar claro que esses temas apresentavam “uma das possíveis formas para a organização das atividades

escolares, explicitando para os jovens os elementos de seu mundo vivencial que se deseja considerar.”(Ibidem, p.71),

Conceitos de Física Moderna e Contemporânea estão presentes em praticamente todos os temas estruturadores sugeridos. Uma grande novidade dentre os temas apresentados é, com certeza, o sexto: “Universo, Terra e vida”, que propõe uma discussão há muito distante da escola média, indicando que esta só teria sentido se provocasse

[...] uma compreensão de natureza cosmológica, permitindo ao jovem refletir sobre sua presença e seu “lugar” na história do Universo, tanto no tempo como no espaço, do ponto de vista da ciência. Espera-se que ele, ao final da educação básica, adquira uma compreensão atualizada das hipóteses, modelos e formas de investigação sobre a origem e evolução do Universo em que vive, com que sonha e que pretende transformar. (Ibidem, p.70)

O presente trabalho se aproxima bastante da temática sugerida neste Tema Estruturador, podendo ser classificado como uma aplicação ou uma abordagem alternativa do mesmo.

Os PCN+ procuraram aproximar o professor comum das transformações propostas pela nova legislação educacional brasileira, fazendo uma ponte entre os conteúdos tradicionais do ensino de Física e o novo olhar apresentado nas DCNEM e nos PCNEM. Mas, mudanças desta ordem não são fáceis de serem realizadas, pois há que se lutar contra uma tradição largamente sedimentada e ensinada a cada nova geração de professores. Anos depois da publicação destes documentos vários autores continuam a destacar tais dificuldades. Citamos a crítica do professor João Zanetic, como exemplo da percepção da academia de que as circunstâncias permanecem inalteradas:

A um cidadão contemporâneo é ensinado que a física é esotérica, que nada tem a ver com a vida atual e que não faz parte da cultura. Com exceção de experiências isoladas que professores levam para suas salas de aula, muitas vezes decorrentes da pesquisa em ensino de física desenvolvida no país, no geral a física é mal ensinada nas escolas. O ensino de física dominante se restringe à memorização de fórmulas aplicadas na solução de exercícios típicos de exames vestibulares. (ZANETIC, 2005, p.21)

Mesmo formulada há alguns anos, a crítica de Zanetic se mantém atual. Parece haver uma inércia muito grande nos sistemas de ensino, resistente às mudanças propostas nos PCNEM e PCN+. Talvez uma das maiores fontes de resistência venha das próprias universidades e seus exames de ingresso (vestibulares) que mantém a mesma seqüência de conteúdos mínimos exigidos para estudo inalterada há décadas, que, querendo ou não, acabam direcionando os currículos ministrados no ensino médio. Este direcionamento está ligado a uma tradição de ensino propedêutico, profundamente arraigada à cultura escolar brasileira, que nem mesmo uma década de legislação progressista conseguiu suplantar.

Porém, o quadro não é tão desanimador quanto parece. Algumas inovações no ensino de Física, especialmente com relação aos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea, vem lentamente sendo implementadas no ensino médio (talvez num ritmo muito inferior do que gostaríamos). E entendemos ser necessário, agora, olhar especificamente para as transformações pelas quais esta área vem passando nos últimos anos.

2.2 - A Física Moderna e Contemporânea na escola média

Até meados do século passado, os currículos de Física no ensino médio tanto no Brasil quanto no exterior eram determinados praticamente pelos conteúdos dos livros didáticos, mas, segundo Gaspar (2005), “não se pode afirmar que esses textos tinham tido alguma fundamentação teórico-pedagógica consciente” (informação verbal)⁴. Estes materiais, em sua grande maioria, eram adaptações, reproduções ou traduções de livros-texto do final do século XIX.

A primeira grande iniciativa de se elaborar uma proposta moderna e autocontida para o ensino de ciências na educação média foi provavelmente o projeto norte-americano PSSC (Physical Science Study Committee). Elaborado a partir de 1956, ele consistia de um conjunto de materiais (livro-texto do aluno, guia de laboratório, aparatos experimentais, filmes, textos suplementares e livro do professor), organizado em quatro partes, que procurava reformular completamente os cursos de introdução à física até então ministrados nos Estados Unidos. Segundo o próprio material, o livro-texto era a alma do projeto e expressava sua filosofia: “nele a física é apresentada não como um simples conjunto de fatos, mas basicamente como um processo em evolução, por meio do qual os homens procuram compreender a natureza do mundo físico” (PSSC, 1970, p.7). Na década de 1960, o projeto foi traduzido e editado no Brasil, incluindo-se a tradução dos filmes e a elaboração do

⁴ Informação fornecida por Alberto Gaspar na palestra “Cinquenta anos de ensino de física: muitos equívocos, alguns acertos e a necessidade do resgate do papel do professor” apresentada no I Simpósio Catarinense dos Professores de Física do Ensino Médio, 2005.
Texto disponível em: http://plato.if.usp.br/~fep0358n/texto_5.pdf <acessado em 15/12/2008>.

aparato experimental, feita pela Funbec (Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências).

Um dos méritos do PSSC foi incluir em sua estrutura curricular tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC). Aparecem, já em sua primeira parte, por exemplo, elementos de espectroscopia, estrutura da matéria e movimento browniano. E em sua quarta parte são tratados temas como: dualidade onda-partícula, efeito fotoelétrico e sistemas quânticos. Outra importância que podemos atribuir ao PSSC foi um certo “efeito motivador” que ele causou: após seu surgimento, diversos outros projetos passaram a ser desenvolvidos pelas comunidades educacionais e científicas mundo afora. Podemos citar a criação, na década de 1970, do Projeto Harvard (Harvard Project Physics), com um enfoque humanista para o ensino científico, e do Projeto Nuffield, uma espécie de resposta inglesa ao PSSC. No Brasil, nesta mesma década, além de serem traduzidos os dois projetos acima citados, também foram desenvolvidos projetos de ensino de física totalmente nacionais, dentre os quais podemos citar o PEF (Projeto de Ensino de Física) e o FAI (Física Auto Instrutivo).

Todos estes projetos, por um motivo ou outro, tiveram curta duração, não conseguindo ultrapassar uma década de aplicação. Entretanto, na década de 1980, surgiria um novo projeto que não só era inovador em sua proposta curricular, incluindo entre outras coisas a temática FMC, como teria uma vida muito mais longa que a de seus antecessores, estando ativo até hoje: o GREF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física).

Formado por grupo de professores da rede estadual de ensino de São Paulo, coordenados por docentes do Instituto de Física da USP, o GREF iniciou seus trabalhos em 1984 e, além da formação continuada, de cursos e assessoria a professores, elaborou uma coleção em três volumes, dirigida a professores de Física. Além disso, foi publicado posteriormente um conjunto de apostilas para os alunos, chamadas Leituras de Física, que estão disponíveis para acesso gratuito de qualquer pessoa, via internet⁵.

O objetivo do GREF era elaborar uma proposta de ensino de Física para o ensino médio que estivesse vinculada à experiência cotidiana dos alunos, procurando apresentar a eles a Física como um instrumento de melhor compreensão e atuação na realidade:

As metas eram e ainda são, por um lado, tornar significativo esse aprendizado científico mesmo para alunos cujo futuro profissional não dependa diretamente da Física; por outro lado, dar a todos os alunos condições de acesso a uma compreensão conceitual e formal consistente, essencial para sua cultura e para uma possível carreira universitária. (GREF, 2002, p.15)

Ou seja, 14 anos antes dos PCNEM, o GREF já apontava para as principais considerações postuladas por este documento governamental, observando que a minoria dos alunos que terminam esta etapa educativa procura o ensino superior e que, portanto, o ensino médio devia ser desatrelado da educação simplesmente propedêutica.

⁵ Em 2007, as apostilas passaram por uma revisão e estão disponíveis no sítio na internet da CENP para download gratuito, em: <http://cenp.edunet.sp.gov.br/fisica/gref/default.aspx> <acessado em 20/12/2008>.

O GREF, apesar de não o explicitar, claramente se baseia na proposta educacional freireana. E nas palavras de um de seus coordenadores, o professor Luis Carlos de Menezes,

Este grupo não formalizou Freire como referência central, mas foi quem pela primeira vez, para o ensino de uma ciência específica, de fato adotou uma prática dialógica e desenvolveu uma metodologia correspondente [...] ⁶

Na proposta grefiana o diálogo sobre o conhecimento a ser discutido e sua estrutura conceitual são elementos basilares do processo de ensino-aprendizagem. A participação do educando nesta proposta é fundamental e se dá desde o início do curso, quando são realizados um levantamento temático e a classificação “das coisas” presentes neste levantamento. Toda esta participação traz elementos importantíssimos ao educador, permitindo a ele “ter uma idéia, desde logo das áreas de conhecimento e de interesse de cada turma” (GREF, 2002, p.16). O GREF acredita que o educando também sai lucrando com este processo, pois ele

“já terá um panorama do curso antes de sua divisão em assuntos e temas e já será capaz de situar os vários tópicos para mais tarde articulá-los, familiarizando-se, assim, com esta etapa classificatória da construção científica.” (GREF, 2002, p.16)

Os conteúdos seguem uma proposta tradicional: Mecânica, Física Térmica, Óptica e Eletromagnetismo, pois isto “facilita ao professor situar-se na nova abordagem” (GREF, 2002, p.16). Porém, dentro de cada assunto, foram feitas diversas mudanças. A ênfase na abordagem das leis de conservação é visivelmente um diferencial e tópicos que até então eram centrais em todas as propostas, como cinemática e eletrostática, viram meros detalhes na abordagem grefiana.

⁶ Luiz Carlos de Menezes, “Paulo Freire e os físicos”. In: Paulo Freire: uma biobibliografia. Moacir Gadotti (org). Ed. Cortez / Instituto Paulo Freire, 1996

No GREF os elementos de Física Moderna e Contemporânea aparecem como instrumento (conhecimento) de compreensão (leitura/desvelamento) do mundo real e estão entrelaçados à proposta curricular, não são apenas tópicos isolados. O modelo quântico da matéria, por exemplo, é utilizado na interpretação das interações luz-matéria, onde o laser e o modelo atômico de Bohr também são elementos importantes do curso. O entendimento da Física se faz através de aparelhos de uso cotidiano: nesta proposta led's (diodos fotoemissores) e células fotoelétricas são tão importantes quanto lâmpadas, carros ou geladeiras.

Talvez seja a junção de todos estes elementos que tenha feito do GREF o projeto de ensino de Física de maior longevidade já desenvolvido no Brasil. E nestes 26 anos de existência ele se mantém atual e continua com as características inovadoras que o marcaram.

No final da década de 1980 e início da de 1990, alguns sinais de mudança começaram a surgir, com a inserção de textos sobre tópicos de FMC em alguns livros didáticos. Mas, ainda eram ocorrências muito esparsas e parecidas com “enxertos”, sem conexão com o conteúdo desenvolvido nos textos anteriores. Nesta época, vários autores continuavam a criticar o tradicionalismo dos currículos de física na escola média. Terrazzan, por exemplo, faz críticas aos currículos escolares, acrescentando o fato de que muito pouco ou quase nada da Física Moderna e Contemporânea aparecia neles:

Dessa forma, as variações em torno dessa divisão, eventualmente adotadas no ensino da física em nossas escolas de 2º grau, são sempre pequenas e mantêm excluída, na prática, toda a física desenvolvida neste século.

Na verdade, a prática escolar usual exclui tanto o nascimento da ciência, como a entendemos, a partir da Grécia Antiga, como as grandes mudanças no pensamento científico ocorridas na virada deste século e as

teorias daí decorrentes. A grande concentração de tópicos se dá na física desenvolvida aproximadamente entre 1600 e 1850. (Ibidem, p. 209)

O professor Zanetic nesta mesma época questionava a falta de conteúdos da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino da física. Zanetic (2006, p.41) afirma que “no final do século passado eu costumava dizer que precisávamos levar a física do século XX para a sala de aula antes que ele (o século XX) acabasse”. Esta frase acabou por se tornar profética, pois o século acabou e a situação mudou muito menos do que seria de se esperar.

Os PCNEM, no final da década de 1990, também indicavam a necessária mudança curricular e a inserção de tópicos de FMC no ensino médio:

A possibilidade de um efetivo aprendizado de Cosmologia depende do desenvolvimento da teoria da gravitação, assim como de noções sobre a constituição elementar da matéria e energética estelar. Essas e outras necessárias atualizações dos conteúdos apontam para uma ênfase à Física contemporânea ao longo de todo o curso, em cada tópico, como um desdobramento de outros conhecimentos e não necessariamente como um tópico a mais no fim do curso. Seria interessante que o estudo da Física no Ensino Médio fosse finalizado com uma discussão de temas que permitissem sínteses abrangentes dos conteúdos trabalhados. Haveria, assim, também, espaço para que fossem sistematizadas idéias gerais sobre o universo, buscando-se uma visão cosmológica atualizada.

(BRASIL, 1999, parte III, p. 26)

O interessante nesta crítica dos PCNEM é que ela aparentemente se referia à citada tendência presente nos livros didáticos da época, nos quais tópicos de FMC eram acrescentados no final das unidades temáticas, principalmente como textos informativos ou apêndices. Apesar de podermos considerar tais inclusões como um avanço, este tipo de abordagem ainda deixava totalmente a critério do professor ou do próprio aluno uma articulação entre o conteúdo já estudado e o tópico de FMC apresentado.

Na virada do século, Ostermann e Moreira (2000) apresentaram os resultados de uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”, e estes já apontavam para um consenso da comunidade científica sobre a necessidade de se incluir temas de FMC no currículo de física na escola média:

[...] há uma tendência nacional e internacional de atualização dos currículos de Física e muitas justificativas para tal. No entanto, como veremos a seguir, ainda é reduzido o número de trabalhos publicados que encaram a problemática sob a ótica do ensino e, mais ainda, os que buscam colocar, em sala de aula, propostas de atualização. (OSTERMANN e MOREIRA, 2000, p.27)

No citado trabalho, são analisadas as propostas existentes e verifica-se que a grande maioria dos trabalhos apresentados, até então, sobre os temas de FMC estava focada em pequenas atividades que procuravam discutir um tópico específico (com a apresentação de elementos de relatividade restrita no ensino médio) ou propostas de atividades e/ou elaboração de instrumentos de baixo custo (como a construção de um espectroscópio e sua utilização). Os autores (Ibidem, p.36) afirmam que

É possível perceber que ainda predomina, na literatura, a simples apresentação de tópicos de FMC. No entanto, questões de ensino vêm sendo incorporadas aos trabalhos e, talvez, seja uma tendência em crescimento. A abordagem de temas atuais de Física em revistas dirigidas a professores é, sem dúvida, uma contribuição importante para a atualização curricular. Mas, além disso, é preciso investir na possibilidade de introduzir alguns destes tópicos no ensino médio, verificando resultados da aprendizagem em condições reais de sala de aula.

Concordarmos com esta observação final de Ostermann e Moreira, pois aparentemente a situação vem mudando nos últimos anos, mesmo que lentamente: um rápido levantamento, feito por nós, dos trabalhos apresentados em dois recentes Simpósios Nacionais de Ensino de Física (SNEF) sobre o tema FMC demonstra que o número de trabalhos na área vem aumentando (foram 21 trabalhos apresentados

sobre o tema em 2005 e 25 em 2007) e que a abordagem de estratégias para levar estes conteúdos para as salas de aula já é a maioria absoluta das propostas. O único problema que enxergamos é que os elementos de FMC ainda aparecem como tópicos isolados. Faltam ainda propostas que busquem integrar tais conhecimentos dentro de uma proposta curricular; algo como fez o GREF, este nosso trabalho e a nova proposta curricular de Física do Estado de São Paulo, que apresentaremos a seguir.

2.3 - O estado da arte da FMC no Estado de São Paulo

Atualmente, no Estado de São Paulo, pode-se perceber certo esforço por parte tanto de grupos de pesquisa no ensino de física, de instituições educacionais e científicas, como da própria Secretaria Estadual da Educação na direção de promover a implementação de parte das propostas dos PCNEM nas Redes de Ensino Paulistas, principalmente no que diz respeito à inserção de tópicos de FMC no ensino médio. Apresentaremos sucintamente, a título de exemplo, dois projetos neste sentido elaborados em universidades e a nova proposta curricular paulista, aplicada a partir de 2008 nas escolas da rede pública.

O primeiro projeto chama-se “Introdução de Teorias Modernas e Contemporâneas na Física do Ensino Médio” e é capitaneado pelo NUPIC (Núcleo de Pesquisa em Inovação Curricular) da Faculdade de Educação – USP, cujo coordenador é o Prof. Dr. Mauricio Pietrocola. O material foi produzido por pesquisadores em Ensino de

Física da Universidade de São Paulo e professores da Rede Pública do Estado de São Paulo e foi aplicado por uma equipe de professores de Física desta rede.

O projeto, que contou com o apoio da FAPESP e do CNPq, produziu quatro cursos dentro da temática de FMC, os quais contêm uma proposta de sequencia didática envolvendo textos, vídeos e experimentos (usando material de baixo custo). Os temas abordados por este projeto são: Dualidade Onda-Partícula, Física das Partículas, Relatividade e Física das Radiações; e seu material pode ser acessado gratuitamente pela internet⁷.

O segundo projeto foi desenvolvido pela Faculdade de Matemática, Física e Tecnologia da PUC-SP e é denominado “Oficinas de Física”. Ele é dirigido principalmente a graduandos e professores das áreas de Ciências da Natureza. São oficinas com 10 horas de duração cada uma, realizadas aos sábados.

Dentre as oficinas propostas há uma de “Física Moderna Experimental”, cuja intenção é proporcionar “acesso a novas práticas pedagógicas voltadas para a formação de indivíduos com uma cultura tecnológica e científica adaptada à atualidade, considerando o conhecimento da Ciência desenvolvida no século XX”⁸. O conteúdo programático desta oficina envolve os seguintes conceitos: Comportamento ondulatório da luz e a óptica física; Obtenção de espectros e determinação de comprimentos de onda utilizando CDs como rede de difração; Uma introdução ao modelo atômico de Bohr e sua interligação com as informações

⁷ Disponível em <<http://nupic.incubadora.fapesp.br/portal/>> acessado em 29/12/2008.

⁸ Texto disponível na proposta das oficinas em <http://cogea.pucsp.br/curso.php?cod=268908&uni=SP&tip=RE&le=E&ID=23> <acessado em 06/01/2009>.

espectrais; Comportamento corpuscular da luz e o efeito fotoelétrico; Determinação experimental da constante de Planck utilizando leds; Comportamento dual da luz; Difração de elétrons e a dualidade onda-partícula.

Apesar de não serem gratuitas, tais oficinas foram claramente montadas para a capacitação em serviço de professores de ciências naturais. Pode-se notar isso tanto por seu preço acessível, quanto pela montagem do horário. Porém, por serem pagas, tais oficinas se afastam da realidade da rede pública, focando nos profissionais da rede particular de ensino paulista.

Com uma abrangência muito maior, a Secretaria da Educação do Estado de São Paulo apresentou no início de 2008 um projeto chamado “São Paulo Faz Escola”. Este projeto propunha, além de uma nova Proposta Curricular para a rede pública do estado, a publicação de um conjunto de Cadernos do Professor, os quais auxiliariam os educadores na implementação da proposta.

A nova proposta curricular de Física foi baseada nos PCNEM e nos PCN+ e incorpora os principais indicadores propostos nestes documentos. Isto pode ser observado em seus princípios centrais:

[...] esta Proposta Curricular tem como princípios centrais: a escola que aprende, o currículo como espaço de cultura, as competências como eixo de aprendizagem, a prioridade da competência de leitura e de escrita, a articulação das competências para aprender e a contextualização no mundo do trabalho. (ESTADO DE SÃO PAULO, 2008, p.11)

A grade temática apresentada na nova proposta curricular de Física é uma adaptação de uma das sequências apresentadas nos PCN+, inclusive com os mesmos temas estruturadores, e pode ser vista na figura 1.

	1ª Série	2ª Série	3ª Série
1º Semestre	Movimentos: variações e conservações	Calor, ambiente e usos de energia	Equipamentos elétricos
2º Semestre	Universo, Terra e vida	Som, imagem e comunicação	Matéria e radiação

Figura 1 – Temas da nova Proposta Curricular do Estado de São Paulo e sua distribuição ao longo dos três anos do Ensino Médio (ESTADO DE SÃO PAULO, 2008, p.48).

Os Cadernos do Professor foram desenvolvidos com o intuito de auxiliar os educadores na implantação da proposta curricular. Eles contêm um conjunto de atividades para cada tema, organizadas em Situações de Aprendizagem, que procuram abordar as diferentes facetas de cada conteúdo proposto. Em 2009, a Secretaria da Educação publicou os Cadernos do Aluno, baseados nas Situações de Aprendizagem do Caderno do Professor.

Os elementos de FMC, nesta proposta, aparecem nos temas do 2º semestre de cada ano, com ênfase no 1º e no 3º anos. No 1º ano, são propostos conteúdos de evolução estelar e cosmologia para o último bimestre. E no 3º Ano, o segundo semestre inteiro é composto por conteúdos de FMC, tais como: os modelos atômicos, dualidade onda-partícula, radiações ionizantes e não ionizantes, física de partículas e microeletrônica.

É uma proposta de tirar o fôlego e, caso ela seja definitivamente implantada, será um grande avanço na renovação dos conteúdos curriculares de Física na escola média. Mas, é claro que tal proposta deveria vir acompanhada de uma política de formação permanente em serviço dos docentes que já atuam na rede pública de

ensino. O projeto “São Paulo Faz Escola”, infelizmente, ainda não programou tal política.

Poderíamos ainda citar outros projetos⁹ mas entendemos que os exemplos acima já são suficientes para contextualizar o nível das propostas que estão sendo feitas e implementadas na área de FMC atualmente. Acreditamos que seria interessante agora focar nos projetos cujos temas estão mais próximos aos deste trabalho.

2.4 - Astrofísica e Cosmologia na escola

Especificamente na temática de Astrofísica e Cosmologia podemos destacar a existência de alguns projetos nacionais e internacionais que, se não abordam exatamente a questão, pelo menos proporcionam meios para que tais temas possam ser levados para a sala de aula, demonstrando que sua inserção faz parte das preocupações de diversos educadores.

No exterior, destacamos dois importantes projetos que surgiram na década de 1990: o inglês “*TRUMP Astrophysics Project*” e o norte-americano “*Project CLEA*”. E no Brasil podemos destacar quatro iniciativas nesta área, que são os Cursos de Astronomia presenciais do IAG-USP e do INPE, os cursos à distância do ON e o projeto Telescópios na Escola.

⁹ Dentre eles, o interessantíssimo projeto “A Aventura das Partículas”, disponível em: www.aventuradasparticulas.ift.unesp.br <acessado em 08 de janeiro de 2009>.

O “*TRUMP Astrophysics Project*”¹⁰ foi desenvolvido na Universidade de York, no Reino Unido, na década de 1990. A sigla TRUMP significa “*Teaching Resources Unit for Modern Physics*”. O projeto era uma colaboração entre professores de escolas e da universidade para gerar materiais de apoio ao ensino de Física Moderna no equivalente inglês ao nosso ensino médio. Teve início em 1995, produzindo atividades com ênfase em Astronomia, Astrofísica e Cosmologia, cuja intenção era gerar um material que tivesse, ao mesmo tempo, apelo popular e rigor científico. De 1997 a 1999 o projeto desenvolveu e publicou um conjunto de atividades, chamado “*The TRUMP Astrophysics Resource Package*”, financiado em parte por um prêmio recebido de um conselho científico inglês e de outra parte por instituições como a Universidade de York e a Nuffield Foundation. O projeto atualmente foi descontinuado, porém ainda é possível ter acesso a parte dos materiais publicados (que não foram reeditados).

O Projeto CLEA¹¹, sigla do inglês “*Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy*”, é desenvolvido pelo Gettysburg College, nos Estados Unidos, desde 1997. Com foco na difusão da astronomia para o equivalente ao nosso ensino médio e ao *College* americanos, o projeto cria softwares para serem usados por estudantes e professores, que podem ser baixados da internet e usados sem a necessidade de conexão com a Web. Financiado pelo Gettysburg College e pela National Science Foundation, este projeto ainda se encontra ativo e tem lançado atualizações e novos softwares regularmente. Entre seus programas, podem ser encontradas atividades

¹⁰ O Projeto TRUMP pode ser acessado pela internet através da página: <http://www.york.ac.uk/org/seg/trump/astrohome.htm> < acessado em 22 de dezembro de 2008. >

¹¹ O Projeto CLEA pode ser acessado pela internet através da página: <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/CLEAhome.html> < acessado em 22 de dezembro de 2008. >

que permitem ao educando simular o uso de telescópios e seus principais instrumentos, como fotômetros e espectroscópios. Além disso, o projeto fornece guias de atividades para serem usadas paralelamente aos softwares, fornecendo aos educadores ferramentas e sugestões importantíssimas para auxiliá-lo na aplicação de tais atividades.

No Brasil, o IAG-USP (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo) é a instituição que mantém cursos de formação sobre os temas de astronomia e astrofísica há mais tempo. Desde os anos 1970, o Departamento de Astronomia deste instituto oferece dois cursos de extensão universitária: "Introdução à Astronomia e à Astrofísica", voltado a graduados e graduandos na área de exatas; e "Astronomia, uma visão geral do Universo", voltado para professores do ensino médio e fundamental.

A coordenação do curso não possui dados disponíveis de todos os 35 anos de existência deste tipo de formação, porém, acredita-se que, neste período, o número daqueles que participaram destes dois cursos gire em torno de 4000 pessoas¹². Além destes, a instituição ministra um terceiro curso, este de difusão cultural, chamado "Astronomia para a Terceira Idade", que é oferecido há 10 anos e já atendeu cerca de 1000 pessoas¹³. Atualmente, os três cursos continuam sendo oferecidos uma vez ao ano.

O curso "Introdução à Astronomia e à Astrofísica" tem cerca de 40 horas de atividades e é realizado em cinco dias consecutivos. Ele oferece em média 60 vagas

¹² Costa, Roberto D.D. Re: Pedido de informações. Mensagem recebida por ricardoraguiar@usp.br em 11 de agosto de 2010.

¹³ Ibidem.

por ano e os conteúdos abordados vão desde astronomia básica, até tópicos de astrofísica e cosmologia. Cobra-se uma taxa de inscrição equivalente a 1/10 do salário mínimo.

Por seu preço acessível e pela escolha do período de realização (ocorre durante uma semana, no período do recesso escolar de julho), tal curso permite a capacitação em serviço de professores de ciências naturais.

O IAG-USP ainda mantém dois Observatórios Astronômicos para fins educacionais e de divulgação científica, um situado na Cidade Universitária e outro em Valinhos-SP. Este segundo faz parte do projeto Telescópios na Escola (citado mais adiante) e também é usado para observações astronômicas agendadas por escolas.

Outra instituição que realiza cursos presenciais nesta área é o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), que oferece anualmente, desde 1998, um “Curso de introdução à astronomia e astrofísica”, como instrumento de capacitação prioritariamente para professores e estudantes de graduação na área de ciências naturais. Outro objetivo do curso é apresentar a atuação científica da Divisão de Astrofísica do INPE e seu curso de pós-graduação em Astrofísica a este público-alvo.

O curso, com 40 horas de atividades, também é realizado em cinco dias consecutivos. São 29 horas de aulas temáticas, 6 horas e meia de atividades extras e 4 horas e meia reservadas a visitas e apresentações. Ele oferece até 60 vagas e os tópicos abordados vão desde astronomia básica, até astrofísica e cosmologia.

Cobra-se uma taxa de inscrição (simbólica para professores das redes públicas), porém grande parte seu material didático fica disponível para acesso gratuito na internet¹⁴.

Por seu preço acessível, pela escolha do período de realização (ocorre durante uma semana, no período do recesso escolar de julho) e pelo processo de seleção dos inscritos (privilegiando professores da rede pública), tal curso foi notadamente montado para a capacitação em serviço de professores de ciências naturais.

Além deste curso o INPE ainda ofereceu, de 2003 a 2005, um “Ciclo de capacitação de professores em astronomia”, cujos objetivos eram a atualização e capacitação de professores do ensino fundamental e médio e elaboração de recursos didáticos (roteiros de aula e atividades) sobre tópicos astronômicos pertencentes ao conteúdo curricular. Ele era destinado a Professores do ensino fundamental e médio da região do Vale do Paraíba, que já houvessem participado do Curso de Introdução à Astronomia e Astrofísica do INPE. Atualmente este ciclo está descontinuado.

O INPE também mantém um Observatório Astronômico para fins educacionais, usado tanto no curso de Introdução à Astronomia e Astrofísica, quanto para palestras e observações astronômicas agendadas por escolas. Este observatório também faz parte do projeto Telescópios na Escola.

Mesmo não sendo especificamente direcionado a professores ou estudantes da educação média, acreditamos ser interessante citar o projeto de "Ensino a Distância"

¹⁴ Disponível em: <http://www.das.inpe.br/curso/index.php> <acessado em 10 de janeiro de 2009>

que a Divisão de Atividades Educacionais - DAED do ON (Observatório Nacional) mantém desde 2003. Neste projeto a instituição oferece cursos ligados à Astrofísica e a Cosmologia, através de um sítio na internet de Ensino a Distância¹⁵. Desde sua criação, o projeto já desenvolveu quatro cursos: Astrofísica Geral (2003), Astrofísica do Sistema Solar (2004), Astrofísica Estelar (2005 e 2007) e Cosmologia (2006 e 2008)

Segundo o próprio sítio na internet,

Para acompanhar o nosso curso à distância não é necessário qualquer conhecimento prévio de astronomia. Essa nossa atividade está voltada para o público não especialista em ciências exatas. Nosso objetivo é atualizar o conhecimento científico de todas as pessoas que se mostrarem interessadas nesse extraordinário assunto. (Ver nota 11)

Apesar da preleção acima, os cursos são bastante extensos e os temas bem profundos, exigindo um domínio mínimo de conhecimentos de física e química para acompanhar as discussões com facilidade. Os temas abordados vão da História da Astronomia até a Astrofísica, passando por Relatividade, Física de Partículas e Cosmologia. O curso é totalmente virtual, dividido em 10 módulos distribuídos durante todo o ano, com avaliações ao final de cada dois deles.

Os cursos à distância oferecidos pelo ON são totalmente gratuitos e grande parte seu material didático fica disponível para acesso livre pela internet, no endereço eletrônico citado anteriormente. São também emitidos certificados para aqueles que completam o curso com eficiência (a nota mínima para aprovação é sete). Segundo Rite, desde seu início este projeto do ON obteve uma média de 2.700 alunos

¹⁵ Disponível em: <http://www.on.br/> <acessado em 10 de janeiro de 2009>

inscritos por curso, totalizando 16.219 alunos atendidos até 2008, sendo que 4.000 deles foram aprovados (informação pessoal)¹⁶.

O quarto projeto que gostaríamos de comentar tem característica bastante distintas dos citados até aqui: trata-se do projeto “Telescópios na Escola” (TnE). Iniciado há cerca de 7 anos, o TnE é um programa educacional que visa o aprendizado de ciências através do uso de telescópios robóticos para a obtenção de imagens dos astros em tempo real.

O TnE foi inspirado no projeto norte-americano “Telescopes in Education”¹⁷, que é financiado pela NASA e está em atuação há mais de 14 anos, oferecendo à escolas acesso cinco telescópios robóticos: dois telescópios, sendo um de 14 e outro de 24 polegadas (35 cm e 61cm de diâmetro, respectivamente), no Mount Wilson Observatory (situado em Los Angeles - EUA); dois telescópios de 14 polegadas no Nanango TIE QUT Observatory (situado na Austrália); e um telescópio de 14 polegadas no Las Campanas Observatory (situado no Chile).

Quando foi iniciado, em 2003, o TnE se chamava “Observatórios Virtuais” era formado por um grupo de seis instituições acadêmicas e oito escolas de ensino médio e fundamental, sob a coordenação do IAG (Instituto de Astronomia, Ciências Atmosféricas e Geofísica da USP). Os telescópios robóticos seriam instalados nos observatórios das instituições envolvidas no projeto: IAG (Valinhos, SP), Universidade Federal do Rio de Janeiro (Observatório do Valongo, RJ),

¹⁶ Rite, Luzia F. Penalva. Curso de Cosmologia. Mensagem recebida por ricardoraguiar@usp.br em 12.jan.2009.

¹⁷ Disponível em: <http://www.telescopesineducation.com> <acessado em 02 de janeiro de 2009>

Universidade Federal de Santa Catarina (Florianópolis, SC), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Porto Alegre, RS), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (São José dos Campos, SP) e na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Natal, RN). Mas apenas um telescópio estava em funcionamento à época, o do INPE (um Schmidt-Cassegrain, de 28 cm de diâmetro).

A partir de 2005, o nome do projeto mudou para Telescópios na Escola e ele passou a oferecer acesso ao público geral. Neste ano mais dois telescópios, o da UFRJ e o do IAG (também um Schmidt-Cassegrain, com 28 cm de diâmetro), foram incorporados ao projeto. Atualmente seis observatórios estão em funcionamento no TnE; além dos três citados, foram acrescentados os telescópios da UFSC, da CMPA e da UEPG, em Ponta Grossa – PR (que não estava entre as seis instituições iniciais), faltando apenas a entrada em funcionamento do telescópio da UFRN.

O TnE é um projeto totalmente gratuito e oferece apoio aos educadores interessados em utilizar os telescópios para fins educacionais, além de disponibilizar em seu sítio na internet principal¹⁸ um conjunto de atividades que podem ser realizadas através dos telescópios e farto material didático de apoio ao interessado. Os telescópios são operados remotamente através de uma página web, não necessitando de conhecimento prévio em Astronomia.

Nestes sete anos de funcionamento, o projeto já atendeu a dezenas de instituições de ensino públicas e privadas, do nível fundamental ao superior, possibilitando a disseminação de conhecimento astronômico de alta qualidade aos educandos de

¹⁸Disponível em: <http://www.telescopiosnaescola.pro.br/> <acessado em 15/12/2008>

todo Brasil. Segundo membros da equipe de coordenadores do Observatório do INPE, “este projeto tem proporcionado um primeiro contato deles [educandos] com a observação astronômica, que é uma ferramenta didática inovadora no Brasil, a fim de estimulá-los a pesquisar sobre os astros.”¹⁹

Acreditamos que as iniciativas acima descritas contribuem de forma bastante eficaz para a disseminação dos conhecimentos de Astrofísica e Cosmologia, fornecendo materiais e instrumental de apoio fundamentais aos educadores que procuram entender melhor tais conhecimentos e que se aventuram a ensiná-los. Entendemos também que uma mudança efetiva nos currículos escolares passa necessariamente pela formação dos educadores.

¹⁹Milone et alli, “Doze meses de observações astronômicas remotas servidas pelo INPE ao ensino formal brasileiro”. In: Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira (2007) Vol. 27, No.1, p. 19

3 – A construção de uma nova proposta de Física e a inserção de Tópicos de Astrofísica e Cosmologia na 1ª série do Ensino Médio

Este trabalho procura analisar a inserção de Tópicos de Astrofísica e Cosmologia, elementos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), na 1ª série de um curso de Física do ensino médio em uma escola paulistana, cuja matriz curricular foi reformulada.

Neste capítulo, apresenta-se a estrutura curricular do novo curso e seu processo de construção, ou seja, são descritas e justificadas as escolhas dos conteúdos de física para as três séries do ensino médio e as suas respectivas estruturações conceituais. Pretende-se, dessa forma, dar uma visão mais ampla da proposta e com isso explicitar o contexto em que os conteúdos de FMC ganham sentido na 1ª série do ensino médio, com particular ênfase em temas relacionados com Astrofísica e Cosmologia, recorte da pesquisa dessa dissertação.

3.1 - O ambiente que produziu a proposta

Todo episódio acontece em algum lugar e num certo momento histórico. Os físicos gostam de afirmar que um fato ocorrido é um evento no espaço-tempo. Fazendo um paralelo com o teatro, pode-se situar um acontecimento num determinado palco e numa determinada cena. O *palco* onde se desenvolveu este trabalho foi uma escola particular paulistana de grande tradição, frequentada por um público de classe média-alta e que oferece ensino em todas as séries dos níveis Fundamental e Médio, com aproximadamente 1000 alunos (sendo que destes, cerca de 300 cursam o ensino médio), que é chamada, de agora em diante de “escola-alvo”. O foco do

trabalho foi o Ensino Médio. A *cena* apresentada se situa no intervalo de tempo compreendido entre os anos 2004 e 2008, durante os quais os eventos relatados neste trabalho se desenrolaram e sobre os quais é feita a descrição e análise.

A escola-alvo pode ser classificada como tendo uma proposta “alternativa” de ensino. Quando se diz “alternativa”, refere-se ao fato de ser uma escola que oferece possibilidades educacionais diferenciadas daquilo que normalmente é entendido, hoje, por tradicional: um curso de Ensino Médio que tem como meta a preparação do estudante para os exames vestibulares. Neste sentido, a escola-alvo tem objetivos de mais longo prazo: de acordo com sua Proposta Pedagógica, ela se propõe a

“formar cidadãos reflexivos, críticos, autônomos, frente às diversas formas de pensar, capazes de utilizar seus conhecimentos para a prática do bem comum. Pessoas que sejam capazes de interagir e interferir no mundo, que tenham apreço pelo conhecimento, que sejam solidários e cientes de seu papel transformador na construção de um mundo melhor, mais humano e mais fraterno”²⁰.

Ou seja, o vestibular, no olhar da escola-alvo, é apenas um momento da trajetória escolar de um estudante e não o fim do caminho. Portanto, o papel do educador numa escola com tal perfil transcende aquele do simples transmissor de conhecimentos de uma área específica, é exigido dele que se assuma como verdadeiro interventor no processo educativo dos alunos, entendendo tal processo como dinâmico, plural e interdisciplinar.

Esta escola possui um histórico de valorização da autonomia e do trabalho autoral dos professores que nela lecionam. São oferecidos vários projetos interdisciplinares e cursos extraclasse, propostos pelo corpo docente, e este tem grande liberdade

²⁰ Extraído da “Proposta Pedagógica - 2010, pág. 13” da escola-alvo.

com relação ao planejamento de seus cursos. Principalmente no Ensino Médio, existem “projetos de curso” feitos pelo conjunto dos professores de uma mesma disciplina que articulam o conhecimento a ser desenvolvido com os estudantes em cada uma das séries deste nível de ensino.

Em especial, no caso da disciplina de Física, no segundo semestre de 2002, foi elaborada pelos três professores que então atuavam no ensino médio da escola-alvo, uma proposta de reestruturação do ensino de Física, um "projeto de curso". Nesta proposta, as maiores alterações estavam focadas em um “novo olhar” que a disciplina deveria ter, baseado num conjunto de eixos de abordagem do conhecimento físico e no material didático a ser utilizado, que, segundo tal proposta, seria gerado pelos próprios professores. Esta reestruturação do curso de Física foi apenas parcialmente aplicada, pois no meio do ano seguinte (2003) um dos professores de Física se afastou do corpo docente e no final deste mesmo ano outro professor se afastou da escola. Ou seja, dos três autores daquela proposta restou apenas uma professora.

A escola-alvo começou o ano de 2004 com uma nova equipe de Física e uma proposta de reestruturação de curso que “não decolou”. A estrutura temática do curso, naquele momento, se assemelhava muito ao que chamamos de “conteúdos tradicionais” de Física: no 1º ano, os conteúdos trabalhados eram Física Térmica e Óptica; no 2º ano, o conteúdo era Mecânica; e no 3º ano, Eletromagnetismo. As variações temáticas e de abordagem do conteúdo baseavam-se no já citado fato dos professores terem liberdade para criação e atuação em cada uma das séries na qual operavam.

Nesse meio tempo, a escola-alvo passava por uma reforma em seu prédio. Foram construídos novos espaços acadêmicos, como novas salas de aula, três novos laboratórios de ciências (em substituição do único, até então, existente), ateliês de arte, novas salas de informática, etc. Ou seja, havia um ar de “novidade”, de transformação, de reorganização. Os novos espaços pedagógicos permitiam maiores vãos no que dizia respeito às possibilidades de atuação docente dentro do espaço escolar e esse clima parecia contagiar o ambiente educacional naquele ano.

A equipe de professores de Ciências Naturais no Ensino Médio da escola-alvo merece um comentário à parte. Composta, em sua maior parte, por docentes com grande experiência no ensino de ciências, alguns dos quais autores de material didático, esta equipe se destacava pelo dinamismo e pela pré-disposição ao constante aprendizado e à troca. Uma equipe onde os professores buscavam constantemente o aperfeiçoamento de seus cursos e do ensino de ciências da escola. Dentre as principais demandas apresentadas a tal equipe, um clamor parecia brotar mais fortemente do que outros: a necessidade de se construir um espaço pedagógico na escola onde os estudantes com maior interesse pela área de ciências pudessem explorar seus potenciais. Tal iniciativa era apelidada de “clube de ciências” (nome que não causava uma boa impressão dentro da equipe, mas que acabou se tornando emblemático) e a proposta de sua elaboração parecia catalisar muito bem o imaginário dos docentes de ciências da escola.

Nossa contribuição com o trabalho da escola-alvo se iniciou em 2004, integrando a equipe de Física do ensino médio e interagindo com toda essa dinâmica sucintamente apresentada. Havia uma forte influência em nosso trabalho de uma

recente e pequena experiência na docência universitária, na regência de uma disciplina para licenciandos em Física no IF-USP²¹, na qual percebemos nos alunos a carência de alguns elementos que acreditamos serem fundamentais para um bom desempenho acadêmico no ensino superior (dentre os quais organização para o estudo pessoal e para o trabalho em grupo, ética nas relações educacionais e envolvimento com o conhecimento a ser estudado).

Poeticamente, parece que uma mão imaginária estava a misturar, cuidadosamente, os ingredientes de uma nova iguaria: a liberdade de criação e atuação permitida pela escola-alvo e sua preocupação com a jornada “pós-ensino médio” de seus estudantes, somadas à nossa experiência na docência universitária e à percepção de que deveria haver uma mudança na postura educacional dos alunos já no ensino médio. Esta mistura teve forte impacto na preparação do curso de Física elaborado para as turmas da 1ª série de 2004. Concebeu-se um novo curso para esta série, no qual se procurava alinhar três olhares: uma sólida visão da construção do conhecimento científico, baseada em uma discussão sobre seus modelos e seu caráter experimental; uma abordagem do conhecimento comum às várias ciências que permitissem atuações interdisciplinares e participação em projetos com esta visão; e um “desafio” aos educandos, procurando despertar neles um desejo de aprofundamento sobre o conhecimento, especialmente sobre a ciência.

Foi em meio a esse “caldo cultural”, formado pela mudança na equipe de Física, pelo clima da reconstrução da escola, pela motivante postura da equipe de ciências e pela experiência de um novo curso de Física na primeira série, que a equipe de

²¹ A convite do professor João Zanetic, ministrei junto com ele, na figura de Monitor A, a disciplina de Gravitação (FEP156), para a Licenciatura de Física, no segundo semestre de 2003.

Orientação Pedagógica da escola-alvo sugeriu aos professores de Física que repensassem o curso do Ensino Médio, montando um novo "projeto de curso".

A equipe de Física iniciou a construção da proposta com um processo de autoconhecimento. Fazia-se necessário entender como cada educador concebia o ensino de Física (ponto de vista educacional), tanto quanto como cada um atuava na escola (do ponto de vista prático) e, principalmente, como funcionavam os cursos em cada uma das séries, pois cada um deles havia sido gerado e era aplicado por um educador diferente.

Esse processo forneceu o “material teórico e prático” que fundamentou a criação do novo curso de Física da escola, ou seja, o autoconhecimento da equipe desvelou as intenções e os olhares de cada educador envolvido no processo, trazendo à tona as vontades e preocupações inerentes àqueles que, mergulhados no processo de ensino-aprendizagem, procuram refletir sobre sua prática e ao mesmo tempo sonhar com as “possíveis revoluções” desta. Foi nele que aflorou uma preocupação comum: a proposta devia ser ao mesmo tempo moderna, viável e compatível com a tradição de ensino da escola-alvo. Uma proposta que levasse em conta grande parte da reflexão promovida pelos pesquisadores em ensino de Física das últimas décadas; que fosse realmente aplicável e não apenas um saboroso devaneio impossível de ser praticado; e que, vindo ao encontro do projeto-pedagógico da escola, fosse realmente construtora de conhecimentos e promotora da autonomia intelectual de seus educandos. Decidiu-se, então, que a essência do projeto passaria pelos **binômios robustez-beleza e solidez-atualização**.

Robustez que significa uma proposta baseada em alguns poucos elementos fundamentais e que consiga dar conta de explicar boa parte da Física. Que seja robusta, no sentido de não necessitar de adornos, ou seja, que consiga “fazer mais com menos”, que sintetize. Já a questão da beleza, indica uma proposta que provoque reflexões sobre a natureza do conhecimento físico e sobre o diferencial que esse conhecimento pode trazer na interpretação que fazemos do mundo. Assim como dizia Feynman, “o conhecimento científico só faz aumentar a beleza e o mistério das coisas. Ele só adiciona, não entendo como possa diminuí-los”²².

Uma proposta sólida é aquela que contém tudo que é fundamental para a compressão do conhecimento produzido pela Física, ou seja, na qual estejam presentes elementos de Física Clássica e também de Física Moderna e Contemporânea; que propicie o entendimento desta ciência como elemento constituinte do pensamento humano atual e também como algo em constante evolução. E na questão da atualização: uma proposta que fale sobre o passado, o presente e o futuro da Física; que seja moderna, tanto nos elementos pedagógicos, quanto no conteúdo conceitual. E, finalmente, que dialogue com a tecnologia atual, permitindo ao educando entender e criticar o mundo em que vive.

²² Tradução nossa. Trecho de entrevista em vídeo de 1981 de Richard Feynman, disponível na internet em: http://www.youtube.com/watch?v=ZbFM3rn4ldo&feature=player_embedded (acessado em 11 de julho de 2010).

3.2 - Construindo a proposta curricular de Física

A primeira versão da proposta pode ser caracterizada como uma *reestilização* dos cursos existentes. Acreditava-se, naquele momento, que o caminho para a mudança procurada passava por uma reorganização dos cursos que já eram aplicados, buscando acrescentar neles novos conteúdos e retirar alguns tópicos até então ensinados. Pode-se dizer, hoje, que se fez “uma maquiagem” ou “uma plástica” nos cursos então existentes, esticando certos conteúdos e cortando outros; acrescentando aqui e retirando dali. Um exemplo desta reestilização: na primeira série foi retirada uma parte do conteúdo de Óptica Geométrica e em seu lugar acrescentaram-se alguns conteúdos de Astronomia.

Montaram-se mapas conceituais dos conteúdos abordados, trocando ideias sobre quais conceitos eram mais importantes e significativos e discutiram-se metodologias educacionais. Porém, havia um problema nesta abordagem e demandou certo tempo para que ele fosse visto claramente: como encaixar a novidade e a atualização pensadas, os binômios robustez-beleza e solidez-atualização, em uma proposta de *reestilização*? E assim percebeu-se que a proposta de mudança passava por sua primeira crise de identidade. Era necessário algo diferente. Seria necessária uma mudança no rumo dos trabalhos.

As práticas educacionais semelhantes adotadas pela equipe de educadores, as habilidades e competências exigidas em sala de aula e nas avaliações, indicavam que todos concordavam os PCNEM, quando estes afirmam que “o *conhecimento da*

Física “em si mesmo” não basta como objetivo, mas deve ser entendido, sobretudo como um meio, um instrumento para a compreensão do mundo (...)” (BRASIL, 1999, parte III, p.23). E uma reestilização estava muito aquém do curso de Física que a equipe almejava.

Nesse meio tempo, tomou-se contato com um livro que havia sido recentemente²³ publicado pelo professor Luis Carlos de Menezes, "A matéria: uma aventura do espírito" (MENEZES, 2005). Nele encontrou-se a inspiração que estava faltando e aquele "algo novo" que se estava procurando. Com este material em mãos, promoveram-se leituras conjuntas de alguns trechos e individuais de sua totalidade. Após alguns pequenos debates, começou-se a reescrever a história da proposta. A estrutura que Menezes usou para montar seu livro, fugindo do quarteto clássico Mecânica-Termodinâmica-Óptica-Eletromagnetismo, "casava perfeitamente" com o imaginário da equipe de como deveria ser um curso de Física para alunos do Ensino Médio, guardadas as devidas proporções.

No livro de Menezes, o conhecimento físico é apresentado como um conjunto coeso e bem estruturado e, ao mesmo tempo, dinâmico, em processo de construção. Ele propõe “uma arquitetura para a Física” que “é um cruzamento de mapa conceitual com roteiro histórico, pois ao mesmo tempo em que a herança histórica condiciona a construção subsequente, esta reinterpreta sua história e a reescreve em cada novo período” (MENEZES, 2005, p.29). E este mapa-roteiro, idealizado como um conjunto de pequenas torres sobrepostas umas às outras, lembrando vagamente um bando de águas-vivas cujos tentáculos das de cima se apoiam sobre as “cabeças” das inferiores, possibilita uma interpretação bastante diferenciada da estrutura tradicional

²³ O livro foi lançado durante o Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) em janeiro de 2005, no Rio de Janeiro.

da Física apresentada pelos livros didáticos: o já citado “quarteto clássico”. E foi a análise deste mapa-roteiro, associada à forma como Menezes descreve a Física (iniciando pelas leis de conservação e simetrias do espaço e do tempo, passando pela termodinâmica, campo e ondas, relatividades, física quântica, cosmologia e evolução), que trouxe novo alento à proposta de Física que estava sendo criada.

Com esta forma diferenciada de olhar para a Física e com os pés mergulhados no dia-a-dia da sala de aula partiu-se para a difícil tarefa do autoenfrentamento: duelar com as estruturas tão bem sedimentadas sobre “o quê e como ensinar Física”, doutrinadas aos professores desta disciplina em sua formação e em sua prática. E há que se dizer que, apesar da postura diferenciada dos educadores da equipe, eles não estavam imunes a todos estes processos... O trabalho, como era de se esperar, foi conflituoso, lento, mas nada desestimulante. Passou-se, então, a construir um curso de Física que estivesse desatrelado da formatação tradicional dos conteúdos.

A ideia central do curso era apresentar ao educando o “edifício” da Física como uma estrutura de conhecimentos coesa e bem articulada e, ao mesmo tempo, dinâmica em constante processo de construção e transformação. Desejava-se fornecer uma visão mais “global” da física, evidenciando a sua estrutura atual, suas intersecções e articulações, seus problemas e “becos sem saída” e, ao mesmo tempo, aprofundar certos temas e provocar um mergulho no conhecimento mais “local” de certas teorias e conceitos, entendidos como fundamentais dentro dessa ciência.

Sabia-se, entretanto, que para a construção de um curso de física, nos moldes pensados, não seria suficiente apenas elaborar novas listas de tópicos de conteúdo.

Precisava-se, principalmente, “*dar ao ensino de Física novas dimensões. Isso significa promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem*” (BRASIL, 1999, parte III, p.23). Portanto, a pedra fundamental do projeto foi a construção de um conjunto de **núcleos estruturais**: um “centro gravitacional” ao redor do qual toda a estrutura pudesse ser construída com clareza e segurança. Estes núcleos teriam a função de organizar e sintetizar a essência do projeto, transformando os binômios robustez-beleza e solidez-atualização de intenções em ações.

Foram definidos três **núcleos estruturais**: um **núcleo conceitual**, que deveria explicitar os conceitos considerados fundamentais a um curso de física; um **núcleo histórico-epistemológico**, que sinalizasse o conhecimento científico como uma construção cultural humana; e um terceiro núcleo, chamado de **núcleo educacional**, que expressasse a visão educacional predominante no projeto. Uma esquematização desta proposta pode ser visualizada na Figura 2.

Percebe-se ser necessário justificar a não utilização das três dimensões dos PCNEM (Representação e Comunicação; Investigação e Compreensão e; Contextualização Sociocultural) na construção da proposta. Na verdade, os Núcleos Educacional e Histórico-epistemológico abrangem, como será descrito adiante, as três dimensões dos PCNEM e a equipe entendeu que, para incorporar as mudanças pensadas na estrutura conceitual, inspiradas pelo livro do professor Menezes, seria necessário acrescentar mais um núcleo estrutural: o Núcleo Conceitual, responsável por explicitar as mudanças na grade curricular que seriam incorporadas à proposta.

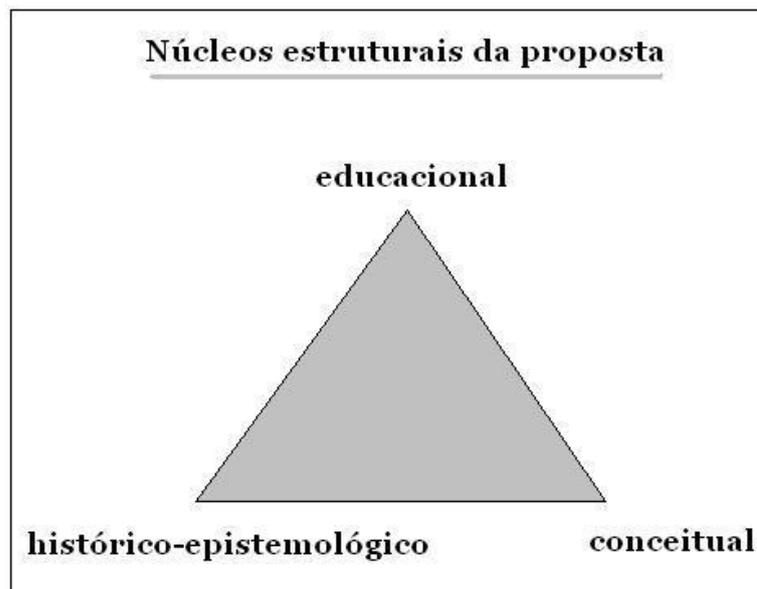


Figura 2 – Esquema da organização dos **Núcleos Estruturais** da proposta.

O núcleo educacional

O olhar educacional da proposta levou em conta a vocação da escola-alvo, as aspirações e conhecimentos dos educadores e educandos, além das habilidades e competências que se acreditava serem essenciais para a formação acadêmica destes últimos. Para isso, elegeram-se como competências e habilidades a serem trabalhadas na proposta aquelas referentes às dimensões “Representação e comunicação” e “Investigação e compreensão” apresentadas nos PCNEM de Física (BRASIL, 1999, p.29), sintetizadas no Quadro 1.

Com relação às habilidades e competências deste Quadro 1, pode-se afirmar que aquelas consideradas essenciais, pela equipe, para a formação acadêmica dos educandos são as que correspondem aos itens I, II, III, VI, VII e IX. Posto que são

imprescindíveis a qualquer um que pretenda entender e assimilar os conhecimentos e explicações que a Física produz sobre o mundo em que vivemos.

As competências IV, V e X, dialogam fortemente com a vocação humanista da escola-alvo, fornecendo aos educandos chaves de leitura para o entendimento das ciências naturais e sua relação com as tecnologias atuais. Além de levar a uma preparação para cursos superiores, onde a elaboração de sínteses e esquemas é fundamental para o bom acompanhamento de qualquer disciplina.

E, como não poderia faltar em uma proposta que busque o diálogo com os educandos, a competência VIII representa as aspirações da maioria daqueles que tomam contato com a Física: utilizá-la como ferramenta para entender o seu cotidiano.

O núcleo histórico-epistemológico

O núcleo histórico-epistemológico do curso foi pensado de modo a levar o educando percebesse a Física como um elemento da cultura humana. Através de debates, filmes, experimentos e, é claro, de uma apresentação do curso com certa ênfase histórica, esperava-se que o educando fosse capaz de perceber o conhecimento físico como um processo em permanente construção.

Quadro 1 - Competências e habilidades de Física dos PCNEM, referentes às dimensões

“Representação e comunicação” e “Investigação e compreensão”.

Dimensão “Representação e comunicação”

- I. *Compreender enunciados que envolvam códigos e símbolos físicos. Compreender manuais de instalação e utilização de aparelhos.*
- II. *Utilizar e compreender tabelas, gráficos e relações matemáticas gráficas para a expressão do saber físico. Ser capaz de discriminar e traduzir as linguagens matemática e discursiva entre si.*
- III. *Expressar-se corretamente utilizando a linguagem física adequada e elementos de sua representação simbólica. Apresentar de forma clara e objetiva o conhecimento apreendido, através de tal linguagem.*
- IV. *Conhecer fontes de informações e formas de obter informações relevantes, sabendo interpretar notícias científicas.*
- V. *Elaborar sínteses ou esquemas estruturados dos temas físicos trabalhados.*

Dimensão “Investigação e compreensão”

- VI. *Desenvolver a capacidade de investigação física. Classificar, organizar, sistematizar. Identificar regularidades. Observar, estimar ordens de grandeza, compreender o conceito de medir, fazer hipóteses, testar.*
- VII. *Conhecer e utilizar conceitos físicos. Relacionar grandezas, quantificar, identificar parâmetros relevantes. Compreender e utilizar leis e teorias físicas.*
- VIII. *Compreender a Física presente no mundo vivencial e nos equipamentos e procedimentos tecnológicos. Descobrir o “como funciona” de aparelhos.*
- IX. *Construir e investigar situações-problema, identificar a situação física, utilizar modelos físicos, generalizar de uma a outra situação, prever, avaliar, analisar previsões.*
- X. *Articular o conhecimento físico com conhecimentos de outras áreas do saber científico.*

O diálogo sobre os diversos modelos usados na ciência e a sucessão histórica de alguns deles poderia motivar debates sobre o método científico e suas transformações. E, ainda, este núcleo seria o responsável por permitir ao estudante saborear a “beleza” e a “elegância” que estão no cerne das teorias científicas. Acreditava-se que somente com tal dimensão incluída no processo de formação dos

jovens seria possível uma visão mais completa sobre a Física e os conhecimentos que dela são gerados.

Além disso, havia uma preocupação com a questão da relação homem-planeta, mediada pelas tecnologias de produção em massa desenvolvidas nos últimos séculos. E uma das intenções do núcleo histórico-epistemológico era provocar reflexões sobre a ética e os rumos do conhecimento científico.

Desta forma, percebe-se que todos elementos presentes nas habilidades e competências dos PCNEM de Física (BRASIL, 1999, p.29) ligadas à dimensão de Contextualização Sociocultural, apresentadas no Quadro 2, estavam abertamente conectados àqueles que figuravam no núcleo histórico-epistemológico da proposta.

**Quadro 2 - Competências e habilidades de Física dos PCNEM, referentes à dimensão
“Contextualização sociocultural”.**

- XI. *Reconhecer a Física enquanto construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico.*
- XII. *Reconhecer o papel da Física no sistema produtivo, compreendendo a evolução dos meios tecnológicos e sua relação dinâmica com a evolução do conhecimento científico.*
- XIII. *Dimensionar a capacidade crescente do homem propiciada pela tecnologia.*
- XIV. *Estabelecer relações entre o conhecimento físico e outras formas de expressão da cultura humana.*
- XV. *Ser capaz de emitir juízos de valor em relação a situações sociais que envolvam aspectos físicos e/ou tecnológicos relevantes.*

A competência XI, descrita no Quadro 2, dialoga com as ideias pensadas sobre a evolução dos conceitos na Física, o uso de modelos e a elegância que os físicos

buscam formular em suas teorias. Já nas competências XII, XIII e XIV, aparece a preocupação com a questão ética, da relação homem-planeta e da evolução tecnológica. E a competência XV, novamente converge para a vocação humanista da escola-alvo.

O núcleo conceitual

A criação deste núcleo, como já afirmado, estava ligada à mudança na sequência de conteúdos feita na proposta, ou seja, a equipe definiu que a uma das peças-chaves da proposta de Física era uma alteração em sua grade curricular.

Partindo de uma discussão sobre a estrutura do conhecimento físico e de conceitos considerados fundamentais para a compreensão deste conhecimento na educação média, decidiu-se que cada série do ensino médio teria um **tema central**. O conjunto destes temas determinaria o núcleo conceitual da proposta, abrangendo também os conteúdos específicos, além da forma e da profundidade com que tais temas seriam abordados em cada série.

Refletindo sobre os binômios robustez-beleza e solidez-atualização, foram elencados os conteúdos físicos que eram considerados fundamentais para um curso de Física. Eles passaram a ser chamados de **conteúdos sintetizadores**. E definiu-se que a escolha destes conteúdos seria feita dentro de três “níveis ou categorias”: grandezas, teorias ou modelos e leis de conservação. O propósito desta categorização era tentar abarcar as principais entidades conceituais da Física, partindo dos elementos mais “concretos” ou mensuráveis até aqueles com maior grau de abstração.

Foram escolhidos, como **conteúdos sintetizadores**, as grandezas: força, campo e energia; e dentre as teorias e modelos: as leis de Newton, a teoria cinético-molecular, o modelo ondulatório, modelo atômico de Bohr e o modelo padrão de partículas; e dentre as leis de conservação, a da quantidade de movimento e a da energia.

Dentro destas três categorias poderiam ser definidos outros conteúdos: outras grandezas, modelos ou leis de conservação, porém entendeu-se que aqueles escolhidos conseguiam dialogar com toda a Física. E, mesmo sem a esgotar, deixavam espaço para a articulação com os demais elementos do conhecimento físico considerados importantes pelos professores. Também se acreditava que, apenas com os poucos conceitos escolhidos, os binômios robustez-beleza e solidez-atualização estariam garantidos.

Na primeira categoria dos conteúdos sintetizadores, a das grandezas, o binômio robustez-beleza aparece com a utilização de alguns poucos elementos fundamentais (força, campo e energia) que estão presentes em todas as estruturas conceituais da Física e que, ao mesmo tempo, são amplos o suficiente para provocar reflexões sobre a natureza do conhecimento físico. Além disso, o binômio solidez-atualização também seria contemplado nesta categoria, principalmente porque tais conceitos estão presentes tanto em temas da Física Clássica, quanto nos de Física Moderna e Contemporânea.

Na segunda categoria, as leis de Newton englobam o binômio robustez-beleza, na medida em que são extremamente sintéticas e abrangentes, abarcando uma infinidade de situações e provocando uma mudança no olhar sobre a natureza. E os modelos escolhidos envolvem tanto os temas clássicos da Física quanto os atuais, acolhendo, portanto o binômio solidez-atualização.

As duas leis de conservação escolhidas (terceira categorias dos conteúdos sintetizadores), garantem a presença dos dois binômios definidos. A robustez e a beleza da conservação da quantidade de movimento, presente em todas as colisões, por exemplo, provoca um olhar diferenciado sobre o mundo, buscando relações entre elementos de um mesmo sistema. Enquanto, o binômio solidez-atualização é garantido pela lei da conservação da energia, que aparece como elemento fundante de diversas descobertas científicas atuais, como a Física de Partículas.

Uma vez definidos os **conteúdos sintetizadores** do curso passou-se para a escolha dos temas centrais de cada série.

3.3 - Finalmente, nasce a proposta

A proposta do curso de Física foi estruturada sobre seus três **núcleos estruturais**: o **núcleo conceitual**, que definiu seus conteúdos fundamentais; o **núcleo histórico-epistemológico**, que introduzia o conhecimento científico como uma construção cultural humana; e o **núcleo educacional**, que expressava a visão educacional do projeto. Porém, acredita-se que o grande diferencial deste projeto estava contido na construção de seu **núcleo conceitual** e passaremos, a partir de agora, a aprofundar nas escolhas feitas durante a criação deste núcleo.

Definiu-se que cada série do ensino médio do curso contaria com um **tema central**, e a escolha destes, por si só, deveria refletir as intenções do curso: quebrar parte da rígida estrutura tradicional de apresentação dos conceitos físicos e apresentar o conhecimento físico na forma de uma "espiral ascendente".

Este modelo de "espiral ascendente" no processo de construção do conhecimento se baseia nos trabalhos sobre conhecimento em espiral de BRUNER (1987), onde os conteúdos seriam sempre re-observados de um ponto de vista diferente do anterior: mais amplo e profundo. Baseado neste conceito havia, na proposta, um desejo intrínseco de complementaridade e de maior gradação temática, ou seja, que os principais conteúdos fossem sempre revisitados de forma a conectá-los aos demais conhecimentos físicos e que a cada vez que fossem re-observados/abordados que isso fosse feito com uma maior profundidade. Esperava-se que tal abordagem levasse a uma apropriação maior da ampla gama de recursos

que o conhecimento físico oferece para o entendimento do mundo e para a resolução de problemas. Portanto, a própria ordem na apresentação dos conteúdos na proposta deveria levar o estudante a refletir sobre a construção do conhecimento físico, percebendo seu caráter processual e sua beleza estrutural.

A escolha dos **temas centrais** levou em conta os **conteúdos sintetizadores** escolhidos e a essência do projeto: os binômios robustez-beleza e solidez-atualização.

Na primeira série do ensino médio, os conteúdos sintetizadores escolhidos foram os quatro grandes modelos usados pela Física para representar a estrutura material do Universo: o cinético-molecular, o ondulatório, o modelo atômico de Bohr e o modelo padrão de partículas. A partir destes modelos, diversos fenômenos e conceitos como som, luz, temperatura, densidade, etc. poderiam ser discutidos. A intenção era apresentar o *caráter construído* do conhecimento físico e explicitar que ele se baseia na edificação de Modelos e Teorias, contemplando assim o binômio robustez-beleza; já o binômio solidez-atualização foi considerado se levarmos em conta que dois modelos provém da Física Clássica e dois da Física Moderna e Contemporânea, abarcando assim tanto os elementos tradicionais do conhecimento físico, quanto aqueles que permitem ao estudante entender o mundo tecnológico atual. O nome pensado para o tema central desta série foi: “Partículas e Ondas: A estrutura material do Universo Físico”.

Para a segunda série, elegeu-se o conceito de Interação como foco temático. O tema central da série foi chamado de: “Campos e Forças: O Universo em interação”.

Tal escolha destacava os conteúdos sintetizadores: campo e força (presentes no cerne de todas as teorias físicas) e as Leis de Newton. A intenção era mostrar que a força das teorias vem de seu poder de previsão e de sua simplicidade e permitir ao educando um mergulho no jeito físico de interpretar o mundo, aprofundando seu instrumental teórico e sua relação com a matemática. E esta abordagem abarca o binômio robustez-beleza buscado no curso: poucos conceitos e muito sobre o que falar.

O conceito de interação, tema central desta série, também permite que sejam apresentadas as leis de Newton e que todos os tipos de força sejam discutidos em um mesmo ano, incluindo as forças nucleares forte e a fraca. Tal escolha temática abrange o binômio solidez-atualização, pois possibilita ao educando tomar contato com um conhecimento fundamental no diálogo da Física com o mundo, que são as leis newtonianas, e simultaneamente discutir elementos da FMC que fazem parte dos debates mais atuais sobre as matrizes energéticas dos países, por exemplo.

Entender o “pano de fundo” da construção das teorias físicas foi o objetivo escolhido para a proposta conceitual da terceira série do ensino médio. E tal desvelamento seria feito através da apresentação das principais leis de conservação da Física e das simetrias associadas a tais conservações. Escolheram-se, portanto, para esta série, os conteúdos sintetizadores: energia, lei de conservação da quantidade de movimento e lei de conservação da energia. Nomeou-se o tema central da terceira série como: “Energia e Simetrias: A busca da beleza do Universo”.

A ênfase nas Leis de Conservação explora de forma especial o binômio robustez-beleza, provocando reflexões sobre a natureza do conhecimento físico e sobre o tipo de interpretação que tal conhecimento faz do mundo. Enquanto o binômio solidez-atualização é contemplado através do tema central da série, por causa de sua característica interdisciplinar.

Um esquema apresentando o Núcleo Conceitual da proposta pode ser visto no Quadro 3.

Quadro 3 – Temas centrais e Conteúdos sintetizadores do Núcleo Conceitual da proposta, para cada uma das séries do Ensino Médio.		
Série	Tema Central do Curso	Conteúdo sintetizador
1 ^a	Partículas e Ondas: A estrutura material do Universo Físico	Modelo Cinético-Molecular
		Modelo Ondulatório
		Modelo Atômico de Bohr
		Modelo Padrão de Partículas
2 ^a	Campos e Forças: O Universo em interação	Conceito de Força
		Leis de Newton
		Conceito de Campo
3 ^a	Energia e Simetrias: A busca da beleza do Universo	Leis de Conservação
		Quantidade de Movimento Linear e Angular
		Conservação da Energia

Pretendeu-se que da própria estrutura temática apresentada pudesse ser extraída uma das intenções do curso: a introdução gradual do estudante ao “jeito físico” de enxergar o Universo. Partindo dos modelos mais simples e intuitivos até modelos mais complexos e um arcabouço teórico cada vez mais elaborado.

Assim, ao se iniciar o curso de Física apresentando os modelos que são usados para interpretar a estrutura material das coisas, parte-se de uma interpretação do mundo mais visceral, mais próxima dos fenômenos simples do cotidiano. O Modelo Cinético-Molecular, por exemplo, permite que o educando se aproxime de conceitos como temperatura e densidade, de uma forma quase intuitiva; fazendo uso de metáforas muito simples. E, apesar de ser historicamente um dos conceitos mais recentes (comparando-o com as ideias de Força e Energia), é um dos que apresenta menos dificuldades de assimilação pelos estudantes na educação média.

Já o modo como a Física vê as interações necessita de um arcabouço teórico mais elaborado, tanto conceitual como matemático. Entender as noções vetoriais e o conceito de inércia são complicações e não explicações no entender da maioria dos educandos. E, porque exploram situações muito próximas do cotidiano, o contraste entre o senso comum e a estrutura conceitual das leis de Newton fica exacerbado. Por isso, optou-se por explorar tais conteúdos na segunda série.

E, para finalizar o curso, aquilo que entende-se ser mais o complexo: os conceitos de energia e de simetrias associadas às leis de conservação, que para a equipe que elaborou a proposta, figuram entre os conceitos mais abstratos do conhecimento físico. Aproveita-se, então, da maior maturidade intelectual dos educandos e de todo seu contato anterior com a Física para dar ênfase à ideia de como as teorias atuais são desenvolvidas.

A forma como o Núcleo Conceitual do curso de Física foi montado tencionava, também, permitir certa flexibilidade temática ao professor, permitindo que este

abordasse os conhecimentos físicos da forma que achasse mais interessante, desde que se guiasse pelos núcleos estruturais e pelo tema central de cada série e seus conteúdos sintetizadores. Assim, o professor poderia optar por qualquer caminho; não havia uma sequência obrigatória na apresentação dos conteúdos sintetizadores e a ordem (apresentada no Quadro 3) deveria servir apenas como uma sugestão. O curso da 1ª série, por exemplo, poderia ser iniciado pela Eletricidade, pela Gravitação, pela Óptica, pela Física Térmica ou ainda pela Física Quântica. Existiam diversos caminhos que poderiam ser percorridos, todos eles válidos e interessantes. A montagem do curso dependeria apenas do interesse do professor, do interesse dos educandos e das demais condições da série.

A partir da definição dos temas centrais do curso, o passo lógico seguinte, foi a montagem de uma matriz curricular para a proposta, definindo para cada série o seu conjunto conceitual, partindo de seus temas centrais e conteúdos sintetizadores.

3.4 - A Grade Conceitual da proposta para o Ensino Médio

Para dar conta dos temas centrais e dos conteúdos sintetizadores que compunham o Núcleo Conceitual da proposta do curso, foram escolhidos diversos conceitos físicos a serem trabalhados no Ensino Médio da escola-alvo. No Quadro 4 são apresentados tais conceitos, relacionando-os aos conteúdos sintetizadores propostos para cada série.

A escolha deste caminho nada tradicional se baseou em um conjunto de características próprias de cada série e da organização pedagógica da escola-alvo. Procura-se, a seguir, oferecer uma visão geral da sequência de desenvolvimento dos conceitos físicos aplicados nesse curso.

Os conceitos físicos trabalhados na primeira série

A 1ª série do ensino médio, cujo **tema central** do curso foi definido como “**Partículas e Ondas - A estrutura material do Universo Físico**”, pretendia ser uma primeira aproximação do estudante com o conhecimento físico, de forma bastante concreta e prazerosa.

Para tanto, a disciplina foi organizada de forma convidar os educandos a uma aventura pelo conhecimento científico através de uma introdução à sua evolução histórica, com a apresentação de diferentes modelos teóricos e seus algoritmos, de uma incursão pela parte experimental e de uma discussão sobre os aspectos epistemológicos e culturais presentes na física e nas ciências em geral, além da tradicional apresentação matemática e aplicações na solução de problemas típicos.

Quadro 4 – Síntese da proposta de Física para o Ensino Médio			
Série	Tema Central do Curso	Conteúdo sintetizador	Conceitos a serem trabalhados
1^a	Partículas e Ondas: A estrutura material do Universo Físico	Modelo Cinético-Molecular	Átomos e Moléculas. Pressão, temperatura, densidade, mudanças de estado físico. Calor específico e calor latente.
		Modelo Ondulatório	Características das Ondas. Ondas sonoras e luminosas. Efeito Doppler. Difração, reflexão e refração.
		Modelo Atômico de Bohr	Interação luz-matéria. Formação de cores e imagens. Camadas eletrônicas e níveis de Energia. Espectros Atômicos.
		Modelo Padrão de Partículas	Dualidade Onda-Partícula. O núcleo atômico e a Tabela Periódica. Aceleradores de Partículas. Bósons e Férmions.
2^a	Campos e Forças: O Universo em interação	Conceito de Força	Conceito de Interação. As quatro facetas: interação gravitacional, interação eletromagnética, interação forte e interação fraca. Inércia, aceleração, deformação.
		Leis de Newton	As três Leis de Newton. Queda Livre, Queda com Resistência do ar, Lançamento, Movimento Circular.
		Conceito de Campo	Leis de Kepler, Lei da Gravitação Universal, Lei de Coulomb, Leis de Ohm, Experimentos de Oersted e Ampère. O campo magnético, Eletromagnetismo. Interação luz-matéria.
3^a	Energia e Simetrias: A busca da beleza do Universo	Leis de Conservação	Conceitos de Simetria e Leis de Conservação.
		Quantidade de Movimento Linear e Angular	As Leis de Newton e a Conservação dos Momentos Linear e angular. As simetrias associadas às leis de conservação.
		Conservação da Energia	A conservação da energia mecânica. As diversas facetas da energia: energia térmica, energia elétrica, energia luminosa, energia Nuclear. A quantização da energia. Radioatividade.

No primeiro semestre, existia um projeto de Estudo do Meio chamado “Projeto Ecossistemas Costeiros”, que inclui uma viagem de 3 dias (geralmente no início do mês de agosto) à cidade de Ubatuba – SP e culmina com a apresentação de um seminário e a elaboração de um pequeno artigo científico. Ele merece um destaque por ser o único projeto interdisciplinar com ênfase nas Ciências Naturais que é realizado atualmente no ensino médio da escola-alvo (Uma breve descrição deste projeto pode ser vista no Apêndice 1).

Assim, a proposta de Física para a 1ª série se aproveitava das oportunidades de trabalho interdisciplinar oferecidas pela estrutura da escola e, especialmente, pelo Projeto Ecossistemas Costeiros, seguindo uma indicação presente nos PCN+ (BRASIL, 2002, p.133):

“A articulação das várias áreas do conhecimento e das disciplinas da área das ciências, partilhando linguagens, procedimentos e contextos, converge com o trabalho educativo da escola como um todo, ao promover competências gerais dos alunos”.

Montou-se um curso para esta série que se iniciava pela Hidrostática e passava pela Física Térmica, introduzindo o modelo cinético-molecular a partir de experimentos sobre pressão, temperatura, densidade e mudanças de estado físico. Já a ideia de Molécula era apresentada através da análise dos conceitos de calor específico e calor latente.

A seguir, o curso passava pela Ondulatória, através do estudo de características das ondas e da diferença entre ondas sonoras e luminosas. Discutia-se o efeito Doppler e exploravam-se os fenômenos de difração, reflexão e refração. E, ainda em Óptica, a formação de cores e imagens.

Introduzia-se a Física Moderna através da interação luz-matéria, discutindo-se o modelo atômico de Bohr, com suas camadas eletrônicas e níveis de energia. A parte fenomenológica ficava com a análise de espectros atômicos e a dualidade onda-partícula era explorada em fotografias com câmeras tipo *pinhole*. Enunciava-se o conceito de núcleo atômico e discutia-se a tabela periódica e a produção de novos átomos em aceleradores de partículas. Finalmente, o Modelo Padrão de Partículas era apresentado através de uma síntese de Bósons e Férmions.

Conceitos físicos trabalhados na segunda série

Na 2ª série, o tema central do curso, “**Campos e Forças: O Universo em interação**”, ensejava uma intenção de progressão e aprofundamento no universo do conhecimento físico.

O curso era iniciado com o conceito de Interação, explorando situações que evidenciavam os conceitos de inércia, aceleração e deformação. A seguir, as três Leis de Newton eram apresentadas como síntese e como forma de enxergar os fenômenos de maneira articulada.

As leis newtonianas eram exploradas em diversas situações, dentre elas: Queda Livre, Queda com Resistência do ar, Lançamento e no Movimento Circular. E, finalizando esta abordagem e promovendo um salto nas dimensões espaço-temporais, apresentavam-se as Leis de Kepler. A mudança temática provocada por este olhar kepleriano permitia sua articulação com a Lei da Gravitação Universal. E, a partir daí, o conceito de campo passava a ser explorado, tanto em situações

envolvendo a gravitação, quanto na eletricidade, com a introdução da Lei de Coulomb.

O aprofundamento do conceito de campo se dava pela apresentação das Leis de Ohm. E através dos Experimentos de Oersted e Ampère, o campo magnético e o Eletromagnetismo eram introduzidos, permitindo uma nova interpretação dos fenômenos associados à interação luz-matéria.

Para finalizar o curso da segunda série elaborava-se uma síntese das quatro facetas: interação gravitacional, interação eletromagnética, interação forte e interação fraca. E desta forma introduziam-se temas de Física Moderna e Contemporânea.

Conceitos físicos trabalhados na terceira série

A 3ª série do ensino médio, cujo tema central do curso era **“Energia e Simetrias: A busca da beleza do Universo”**, pretendia ter o caráter de encerramento do contato dos educandos com o conhecimento físico na educação média. Além disso, um dos objetivos da série era entender o “pano de fundo” da construção das teorias físicas.

O curso tinha início com a apresentação dos conceitos de Conservação dos Momentos Linear e Angular e suas relações com as Leis de Newton, discutidas na série anterior, permitindo articulações e ampliando o leque de temas abordados pela Mecânica. Discutiam-se as simetrias espaciais associadas às leis de conservação. E introduzia-se o conceito de conservação da energia.

A seguir, as diversas facetas da conservação da energia eram exploradas (energia mecânica, energia térmica, energia elétrica, energia luminosa e energia nuclear), permitindo a articulação das diversas áreas do conhecimento físico.

O curso da terceira série finalizava com elementos de Física Moderna e Contemporânea, explorando a ideia da quantização da energia e os elementos de Física Quântica e de Radioatividade.

A descrição feita até aqui corresponde à implantação do curso de Física no ensino médio realizada na escola-alvo a partir de 2006. Porém, no ano de 2008 houve uma mudança na grade curricular da 1ª série deste curso de Física, onde ocorreu a implantação de tópicos de Astrofísica e Cosmologia, elementos de Física Moderna e Contemporânea (FMC). A seguir, descreve-se este processo.

3.5 - Recorte da pesquisa e a reconstrução da 1ª série: inserindo a Astrofísica e a Cosmologia.

A meta inicial deste trabalho era fazer a análise de todo o curso de Física da primeira série, porém com o desenrolar da tarefa percebeu-se que esta seria descomunal, obrigando-nos a fazer um recorte em uma parte do programa proposto.

Dentre as várias opções para tal recorte, poderíamos citar: uma análise das escolhas temáticas feitas, como dos modelos cinético-molecular e ondulatório e dos conceitos de Física Moderna e Contemporânea, partindo, por exemplo, do paradigma da Transposição Didática; ou então a observação das possíveis mudanças da visão dos educandos sobre o fazer científico que um curso fundado sobre o uso de modelos pode causar; ou a descrição e análise das escolhas temáticas feitas em um dos semestres do curso, procurando observar seu impacto sobre os educandos em sua visão sobre o fazer científico e/ou em sua visão de mundo.

Como foco dessa dissertação optou-se pelo estudo das escolhas temáticas na perspectiva de avaliar o impacto que certas mudanças curriculares podem causar na compreensão que os alunos da educação média fazem do conhecimento científico. A escolha do recorte temático pode ser justificada pela inserção de elementos de FMC presentes no segundo semestre do curso e pela articulação que foi feita deste tema com a Astrofísica e a Cosmologia. Esta opção foi motivada por quatro fatores principais: a atração que a Astronomia causa no imaginário coletivo e em especial no dos jovens educandos; a possibilidade de aplicação e aprofundamento dos modelos estudados no primeiro semestre do curso de Física (cinético-molecular e ondulatório); a perspectiva de se inserir, através do tema, conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no currículo do ensino médio; e, finalmente, o fascínio pessoal do autor deste trabalho pelo tema.

Reconstruindo o curso da 1ª série

A descrição que segue corresponde ao trabalho desenvolvido no 2º semestre de 2008. Porém, não foi esta a configuração original das aulas, mas sim o resultado da reflexão sobre a prática, durante dois anos, da aplicação da proposta curricular de Física elaborada para a escola-alvo.

Na primeira versão do curso, em 2006, a intenção era aprofundar os conceitos de Óptica Física e inserir um pouco de Astronomia. E ela foi elaborada de forma a se aproveitar dos principais conteúdos discutidos no primeiro semestre, dentre eles:

- A ideia da Ciência como algo “em construção”, baseada nas imagens de “Construção da Realidade” propostas por Robilotta (1985).
- O conceito de modelagem da realidade, inserido com o objetivo de desmistificar e desmitificar a visão de ciência do senso comum e, ainda, a partir de um olhar Freireano, interpretar a codificação-descodificação da realidade (FREIRE, 2001) produzida pelo conhecimento científico;
- Os modelos cinético-molecular e ondulatório, apresentados como formas de “diálogo com o mundo” pela Física, e a aplicação de tais modelos, através da “explicação” de fenômenos ligados à física térmica, ao som e à luz.

No foco daquela primeira versão estavam a interação luz-matéria e a emissão luminosa, interpretadas a partir do modelo atômico de Bohr, descritas anteriormente. Entretanto os elementos de Astrofísica e Cosmologia ainda não apareciam com a força e articulação que desenvolveram posteriormente. E uma das coisas que

provocou tal mudança na estrutura do curso foi uma certa integração existente entre o conteúdo das disciplinas de Física e Química, à época.

Ambas as disciplinas versavam sobre o Modelo Atômico de Bohr simultaneamente e isto levou a uma separação na abordagem dada por cada disciplina: enquanto a Química discutia espectros de emissão luminosa, a Física explicava os espectros de absorção da luz. Começou-se, então, a utilizar os espectros de absorção luminosa das estrelas como exemplo de aplicação do conhecimento proporcionado por tal modelo atômico. Uma coisa levou à outra e no ano seguinte utilizou-se o Desvio para o Vermelho (Redshift) dos espectros galácticos para discutir o Efeito Doppler luminoso, conectando o modelo ondulatório ao modelo de Bohr. A boa aceitação de tais discussões pelos educandos e o tipo de debate que elas proporcionavam em sala de aula, indicaram que um aprofundamento em tais temas da Astronomia, não só enriqueciam de forma bastante prazerosa o ambiente de aprendizagem escolar, como deveriam fazer parte permanente do curso de Física.

Com um olhar um pouco mais distanciado sobre os conteúdos até então trabalhados, percebeu-se que um caminho mais intencional sobre tais temas poderia ser traçado: uma pequena introdução à Astrofísica e a Cosmologia. Foi desenvolvida, então, para o curso de 2008 uma estrutura para esta introdução de forma a permitir uma progressão tanto das dimensões espaço-temporais quanto conceitual e, assim, surgiu a versão do curso a ser descrita e analisada neste trabalho.

A ideia da progressão das dimensões espaço-temporais foi aplicada na ordem de apresentação dos temas: partindo do Sistema Solar, discutindo as constelações, os aglomerados estelares, a Via Láctea, as Galáxias do Grupo Local e as mais distantes, os aglomerados galácticos e, finalmente, a ideia atual do que seja o Universo e sua origem, o Big-Bang. A ideia da progressão conceitual teve como base os modelos físicos apresentados anteriormente aos educandos, o cinético-molecular e o ondulatório, e se seguiu com a interpretação da interação luz-matéria através do modelo atômico de Bohr; passou por uma introdução à espectroscopia estelar e galáctica, prosseguindo com interpretações gráficas do Diagrama H-R e da Lei de Hubble e, finalizou com uma breve apresentação do Modelo Padrão de Partículas, ao discutir o Big-Bang.

Em função desta progressão das dimensões espaço-temporais e conceituais, foi concebida uma estrutura para as aulas envolvendo alguns tópicos de Astrofísica e Cosmologia, pois a realidade do cotidiano da sala de aula exige o planejamento sistemático de atividades e sequencias didáticas, como os próprios PCN+ afirmam:

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)

A estrutura temática criada para as aulas foi a seguinte:

- a apresentação dos conceitos de sistema planetário, constelação, galáxia e aglomerados galácticos;
- a interação luz-matéria e a emissão luminosa a partir do modelo atômico de Bohr;

- uma introdução à espectroscopia estelar e os resultados decorrentes da análise da luz das estrelas e galáxias;
- os métodos de medida de distâncias astronômicas; e, por fim,
- uma breve introdução à cosmologia, incluindo uma apresentação do modelo padrão de partículas.

E para facilitar a descrição dos elementos de Astrofísica e Cosmologia, as aulas foram organizadas em **TRÊS BLOCOS TEMÁTICOS**:

- I) Tópicos de Astronomia;
- II) Tópicos de Astrofísica; e
- III) Tópicos de Cosmologia.

O Quadro 5 apresenta os conteúdos e atividades das aulas que foram desenvolvidas na 1ª série do Ensino Médio, durante o 2º Semestre de 2008, já divididas nos blocos temáticos. O detalhamento desta estrutura e de seus conteúdos é apresentado no próximo capítulo.

Diante dos conteúdos apresentados, pensando na estrutura dos blocos temáticos e fazendo um paralelo com as usuais subdivisões das áreas do conhecimento físico, como a Mecânica, a Termologia, etc., ou ainda com a ideia dos “temas estruturadores” dos PCN+ (BRASIL, 2002, p.69), acredita-se que esta proposta temática possa ser chamada de “**Tópicos de Astrofísica e Cosmologia**”. Aliás, percebe-se uma grande sintonia entre a proposta ora apresentada e o tema estruturador “Universo, Terra e vida” descrito nos PCN+.

Quadro 5 – Conteúdos desenvolvidos nas aulas de Física do 2º semestre de 2008	
Bloco Temático	Atividade/Conteúdo
Tópicos de Astronomia	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema Solar em escala e conceito de Sistemas Planetário. As dimensões espaço-temporais envolvidas na astronomia. • Conceitos de Constelação, Zodíaco, Estrelas duplas, Aglomerados Estelares e Galáxias. • Mudança na perspectiva da observação: observando cientificamente. • Atmosferas planetárias. • Introdução ao modelo ondulatório da luz. • O espectro eletromagnético e a luz visível. • A perspectiva da dualidade onda-partícula na formação de imagens. • Interação luz-matéria: formação das cores e a percepção humana.
Tópicos de Astrofísica	<ul style="list-style-type: none"> • Introduzindo o elétron no modelo de partículas. • O modelo atômico de Bohr • O Sol e a estrutura das estrelas • Medidas de distâncias no Universo • Reflexão e refração (Lei de Snell) • Espectro das Estrelas: Cor e Temperatura • Composição Estelar (Diagrama HR) • Análise qualitativa de espectros luminosos
Tópicos de Cosmologia	<ul style="list-style-type: none"> • As Gravidades Newtoniana e Einsteiniana • Redshift de Estrelas e Galáxias (Efeito Doppler) • Lei de Hubble • Radiação Cósmica de Fundo e o Big-Bang • O Modelo Padrão de Partículas • Energia escura e matéria escura

A articulação dos conteúdos do Núcleo Conceitual da proposta com o dos quatro blocos temáticos

É importante observar a relação entre os conteúdos do Núcleo Conceitual da proposta de Física para a 1ª série e os conteúdos dos três blocos temáticos da proposta dos *Tópicos de Astrofísica e Cosmologia*, destacando-se as contribuições que esta proposta faz para a estrutura do curso.

No Quadro 6, foi realizada uma articulação dos conceitos trabalhados em cada bloco temático no 2º semestre de 2008 com o Núcleo Conceitual da proposta para a 1ª série (Quadro 4), destacando como os conteúdos sintetizadores foram incorporados e como os conceitos da proposta são distribuídos através dos blocos temáticos. Além disso, observam-se quais conteúdos foram acrescentados pela proposta dos *Tópicos*.

Fica claro, nesta configuração dada pelo Quadro 6, que a sugestão temática dos *Tópicos de Astrofísica e Cosmologia*, somente adiciona ao Núcleo Conceitual da proposta de Física: além de contemplar todos os conceitos nela contidos, acrescenta outros elementos. Ademais, os subsídios conceituais adicionados pelos *Tópicos* criam uma nova estrutura para o conhecimento físico, articulando todos os elementos ao redor de uma proposta temática, o que dá mais “força” à proposta original do curso: que o educando, nas palavras dos PCN+ (BRASIL, 2002, p.71),

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.

Quadro 6 – Articulação dos conteúdos do Núcleo Conceitual da proposta de Física com os três blocos temáticos

	Conteúdo sintetizador	Conceitos trabalhados	Conteúdo adicionado ao Núcleo Conceitual	Bloco Temático
2º Semestre	Modelo Atômico de Bohr	Interação luz-matéria Formação de cores e imagens	Sistema Solar em escala Conceitos de sistema planetário, constelação e galáxia Observação do céu	Tópicos de Astronomia
		Camadas eletrônicas Níveis de Energia Espectros Atômicos	Introdução à espectroscopia estelar e galáctica Introdução à Nucleossíntese estelar Diagrama H-R Medidas de distâncias astronômicas	Tópicos de Astrofísica
	Modelo Padrão de Partículas	Núcleo atômico Tabela Periódica	Noções de Relatividade Geral “Redshift” de Estrelas e Galáxias Lei de Hubble Radiação Cósmica de Fundo e Big-Bang	Tópicos de Cosmologia
	Dualidade Onda-Partícula Aceleradores de Partículas Bósons e Férmions			

Sobre o material didático

Acredita-se que são necessárias algumas palavras sobre o material didático utilizado com esta proposta, pois, com uma proposta temática tão alternativa, não há nenhum livro didático atual que dê conta de todos os conteúdos trabalhados neste curso. Portanto, foi escolhido o livro “Física 2 (Física térmica e óptica)” do GREF e utilizou-se com os alunos o próprio “livro do professor” e não as apostilas deste material (Leituras de Física), pois o nível de leitura dos alunos da escola-alvo era bastante alto. A opção por este material foi motivada pela forma como o GREF aborda os conceitos físicos e pelos conteúdos presentes no livro: os principais modelos que são discutidos no curso (cinético-molecular, ondulatório e atômico de Bohr) estão presentes em tal livro-texto. Há que se comentar, porém, que a ordem dos assuntos trabalhados no curso não segue a ordem temática do livro, nem o esgota.

Ademais, fez-se necessário o uso de textos alternativos para complementar tanto os temas que não estão presentes no livro do GREF, quanto aqueles cuja abordagem difere da proposta grefiana, como o olhar histórico-epistemológico do curso. Alguns deles são citados mais adiante. E há também a questão dos exercícios para os educandos: como no livro do GREF estes já estão resolvidos, parte do trabalho do professor era elaborar listas de exercícios que aproximassem os alunos de questões tradicionais e de problemas exemplares (KUHN, 2001) da física (ver Apêndice 5).

No próximo capítulo, faz-se uma descrição das aulas elaboradas para cada um dos blocos temáticos, explicitando seus objetivos e as estratégias desenvolvidas para atingi-los.

4 – Astrofísica e Cosmologia na 1ª série do Ensino Médio

Este capítulo descreve a implantação dos Tópicos de Astrofísica e Cosmologia, no segundo semestre da 1ª série do ensino médio do curso de Física, no ano de 2008, descrevendo as aulas elaboradas e realizadas em cada um dos blocos três temáticos, explicitando seus objetivos e as estratégias desenvolvidas para atingi-los.

4.1 – Desenvolvimento do curso

Conforme já dito, as aulas foram agrupadas em três blocos temáticos, os quais pretendiam fornecer uma progressão das dimensões espaço-temporais e conceituais envolvidas na Astronomia e na Física. Assim, cada bloco temático possuía uma estrutura e um objetivo próprios que buscavam contemplar a desejada progressão.

O Bloco I (Tópicos de Astronomia) tencionava promover uma introdução à Astronomia, permitindo aos educandos aproximar-se do tema. Além disso, iniciava-se neste bloco Expansão das dimensões espaço-temporais, com a visualização da Terra com pequena parte constituinte do universo. Já o Bloco II (Tópicos de Astrofísica), objetivava explicitar a articulação do conhecimento físico, unindo o modelo cinético-molecular ao ondulatório (ambos discutidos no primeiro semestre) para explicar a interação luz-matéria, através do modelo de Bohr. Neste bloco, o foco estava perspectiva educacional integralizante do conhecimento. E, no Bloco III (Tópicos de Cosmologia), pretendia-se dar ênfase à dimensão epistemológica do conhecimento físico, com a explicitação da Física como uma ciência em construção e do saber científico como algo inacabado. Seriam demonstrados a força e os limites

dos modelos físicos. Neste bloco também seria retomada a expansão das dimensões espaço-temporais abordadas pela Astronomia.

O segundo semestre do curso utilizou 35 aulas para atividades e teoria (excluindo-se as aulas de avaliação, que foram mais 7 aulas), distribuídas em 14 semanas, sendo que em cada uma delas havia 2,5 aulas da disciplina (uma das aulas tinha 50 minutos de duração e a outra 75 minutos). Na prática, para fins de apresentação da proposta, as aulas de 75 minutos foram consideradas como apenas uma aula normal (ou seja, desta forma as semanas aparentam ter apenas duas aulas e o semestre aparenta ter apenas **26 aulas**). A organização do ano letivo nesta escola era feita em bimestres.

Participaram da aplicação desta proposta 93 educandos, com idades entre 14 e 16 anos. Nas aulas de 50 minutos (que foram usadas prioritariamente nas aulas teóricas) eles eram distribuídos em três turmas de cerca de 30 alunos, enquanto que nas aulas de 75 minutos (usadas principalmente nas aulas de atividades) eles eram redistribuídos em quatro turmas de aproximadamente 24 alunos.

O Quadro 7 apresenta os conteúdos e atividades das aulas que foram desenvolvidas na 1ª série do Ensino Médio, durante o 2º Semestre de 2008, na ordem em que elas ocorreram, já divididas nos três blocos temáticos, excluindo-se as aulas de avaliação e de exercícios. Na prática, ele é uma reorganização do Quadro 5, distribuindo os temas nas aulas. O detalhamento desta estrutura e de seus conteúdos é apresentado a seguir.

Quadro 7 – Cronograma das aulas de Física do 2º semestre de 2008			
	Bloco Temático	Aula	Atividade/Conteúdo
3º BIMESTRE	Tópicos de Astronomia	1	Sistema Solar em escala e conceito de Sistemas Planetário. Dimensões espaço-temporais envolvidas na astronomia.
		2	Conceitos de Constelação, Zodíaco e Galáxia.
		3	Observação do Céu – Conceito de Estrelas duplas, Aglomerados Estelares, Galáxia,
		4	Observação do Céu – Mudança na perspectiva da observação: dimensões envolvidas. Olhar carregado de teoria.
		5	Atmosferas planetárias. A atmosfera terrestre e seu limite. Manômetro e pressão atmosférica
		6	Falando sobre a luz – introdução
		7	A natureza da luz / Espectro eletromagnético
		8	Experimento – Foto na lata
		9	Interação luz-matéria: as cores
		4º BIMESTRE	Tópicos de Astrofísica
11	Introdução ao modelo atômico de Bohr		
12	O modelo atômico de Bohr		
13	Atividade: simulador do átomo de hidrogênio		
14	Palestra: A vida das estrelas		
15	O Sol e a estrutura das estrelas		
16	Medidas de distâncias no Universo		
17	Reflexão e refração (Lei de Snell)		
Tópicos de Cosmologia	18		Espectro das Estrelas: Cor e Temperatura
	19		Composição Estelar (Diagrama HR)
	20		Análise qualitativa de espectros luminosos
	21		As Gravidades Newtoniana e Einsteiniana
	22		Redshift de Estrelas e Galáxias (Efeito Doppler)
	23		Lei de Hubble
	24		Radiação Cósmica de Fundo e o Big-Bang
	25		O Modelo Padrão de Partículas
26	Energia escura e matéria escura		

4.2 – Bloco Temático I - Tópicos de Astronomia

O segundo semestre de 2008 se iniciou com o estudo do primeiro bloco temático. Foram utilizadas 9 aulas para o primeiro bloco, incluídos os dias de viagem do estudo do meio.

Objetivo Geral do Bloco

O objetivo geral deste bloco temático era promover uma introdução à Astronomia, permitindo aos educandos que nunca pensaram sobre o assunto aproximar-se do mesmo e àqueles que já possuíam algum conhecimento, refletir mais profundamente sobre ele. Além disso, iniciava-se neste bloco a expansão das dimensões espaço-temporais, com a visualização da Terra como pequena parte constituinte do universo. A intenção era que tal introdução, provocasse uma equiparação nos conhecimentos dos educandos sobre o tema, o que seria indispensável diante das discussões feitas a seguir, sobre Astrofísica e Cosmologia. Outra consequência a ser acrescentada ao curso era um acréscimo na empatia com relação ao tema que as atividades de observação astronômica causariam.

Para atingir estes objetivos foi desenvolvida uma sequência didática, que aproveitou a oportunidade gerada pelo estudo do meio da escola (Projeto Ecossistemas Costeiros) realizado no município litorâneo de Ubatuba - SP, onde foram programadas duas Noites de Observação Astronômica. Apresenta-se, no Quadro 8, uma síntese das aulas nele desenvolvidas.

Quadro 8 – Síntese do Bloco Temático I – Tópicos de Astronomia			
Aula	Tema da aula	Atividades desenvolvidas	Material utilizado
1	Sistema Solar em escala	Trabalho em grupo: montagem de um Sistema Solar em Escala. Projeção de animação em vídeo e imagens. Discussão dos resultados.	Roteiro de atividade, cartolina, lápis de cor, barbante e massinha. Animação em vídeo e imagens dos planetas e estrelas. Recursos multimídia.
2	O sistema solar e outras estrelas	Uso individual de software planetário. Projeção de imagens. Discussão em grupo.	Sala de informática com o software Stellarium instalado nos computadores. Recursos multimídia
3	Observação do céu Estudo do Meio	Projeção de animação em vídeo e imagens. Discussão em grupo.	Recursos multimídia
4	Observação do céu Estudo do Meio	Observação do céu a olho nu e com instrumentos.	Telescópios, lunetas e carta celeste.
5	Experimento – Manômetro e pressão atmosférica	Abertura do manômetro e medida do desnível. Discussão dos resultados.	Manômetro de mangueira e trena.
6	Falando sobre a luz	Aula expositiva	Recursos multimídia
7	Espectro eletromagnético	Aula expositiva. Atividade com prisma.	Recursos multimídia. Prisma de vidro e CD/DVD.
8	Foto na lata	Carregar, fotografar e revelar com uma máquina tipo pinhole, feita com uma lata.	Sala de revelação fotográfica. Roteiro de atividade. Lata, papel fotográfico e material para revelação.
9	Interação luz- matéria: as cores	Projeção de imagens. Discussão em grupo.	Sala escura. Lâmpadas com cores diferentes (RGB) e filtros de papel celofane. Recursos multimídia

Nas aulas que a antecederam a viagem, como preparação para a observação do céu, foram desenvolvidas duas atividades: uma envolvendo escalas de tamanho e distâncias dos planetas do sistema solar e outra fazendo uso de um software planetário chamado Stellarium²⁴. Tais atividades tinham como pretensão facilitar o

²⁴ Disponível em: <http://www.stellarium.org/> <acessado em 13/03/2010>

entendimento das discussões astronômicas que seriam feitas no estudo do meio e ao mesmo tempo familiarizar os educandos com softwares que fazem a previsão da posição dos astros no céu.

★ Aula 1 - O Sistema Solar em Escala

Objetivos específicos:

Apresentar e esclarecer os conceitos astronômicos: estrela, planeta e sistema planetário; Desenvolver nos educandos uma melhor compreensão sobre as escalas de tamanho e distâncias envolvidas na astronomia, com ênfase no Sistema Solar.

Material utilizado:

Roteiro de atividade (disponível no Apêndice 2), cartolina, lápis de cor, barbante e massinha. Animação em vídeo e imagens dos planetas e estrelas. Recursos multimídia.

Atividades realizadas:

Trabalho em grupo: montagem de um quadro com todos os planetas do Sistema Solar em escala de tamanho; e uma linha imaginária dos planetas, na qual os mesmos foram colocados em ordem de distância do Sol, também em escala. Além disso, utilizaram-se algumas imagens e um vídeo para complementar a discussão

Considerações sobre o desenvolvimento da aula:

Utilizamos como referência para esta aula uma atividade proposta pelo professor João Batista Garcia Canalle do Instituto de Física da UERJ, organizador da Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA); a proposta completa da atividade e algumas imagens ilustrando seus resultados desta podem ser encontradas no Apêndice 2. Nela, os alunos foram levados a inferir os tamanhos relativos dos

planetas do Sistema Solar, incluindo o Sol. Após a finalização da atividade e aproveitando seus resultados, iniciou-se uma breve discussão sobre os tamanhos dos astros do sistema solar. A maioria dos alunos se mostrou surpresa por perceber as dimensões do Sol quando comparado aos demais planetas e, principalmente, ao diminuto tamanho da Terra frente aos planetas gasosos.

Também nesta aula, após discussão sobre a atividade, foi apresentada uma animação feita pelo *designer* gráfico Martin Kornmesser²⁵, (que simula uma viagem através do Sistema Solar, saindo do Sol e passando por todos os planetas até chegar ao planeta-anão Éris). O vídeo tem a duração de apenas 41 segundos, mas é muito ilustrativo e complementa esta atividade de escalas no Sistema Solar, agregando uma visualização dinâmica do mesmo.

Para finalizar foram apresentadas imagens²⁶ que simulavam as relações entre os diâmetros do Sol e de outras estrelas como Sírius, Rigel e Betelgeuse. Estas imagens provocam certo grau de perplexidade nos educandos pois, segundo o depoimento de muitos deles, nunca antes haviam pensado que as estrelas poderiam ter tamanhos tão diferentes. Além disso, a pequenez relativa do Sol diante de estrelas Gigantes Vermelhas sempre surpreende.

²⁵ Martin Kornmesser trabalha para a ESA/NASA no Centro de Informações Hubble da Agência Espacial Europeia (HEIC, na sigla em inglês). A animação está disponível na internet através do endereço: <http://www.newscientist.com/data/images/ns/av/dn9761V1.mpeg> <acessado em 14/07/2010>.

²⁶ As imagens estão disponíveis em: <http://www.rense.com/general72/size.htm> <acessado em 24/07/2010>

★ Aula 2 – O sistema solar e outras estrelas (Uso de um software Planetário)

Objetivos específicos:

Apresentar e esclarecer os conceitos astronômicos de constelação e zodíaco; Desenvolver nos educandos uma melhor compreensão sobre as escalas de tamanho e distâncias envolvidas na astronomia; Demonstrar e facilitar a familiarização do uso de softwares que fazem a previsão da posição de astros no céu; Facilitar o entendimento dos alunos sobre as discussões e observações astronômicas que seriam realizadas na viagem do estudo do meio;

Material utilizado:

Sala de informática com o software *Stellarium*²⁷ instalado nos computadores.

Recursos multimídia

Atividades realizadas:

Uso individual de software planetário. Simulação da observação do céu do dia de seu nascimento. Previsão da localização de planetas e outros astros em qualquer época do ano. Projeção de imagem do zodíaco. Discussão coletiva.

Considerações sobre o desenvolvimento da aula:

Softwares planetários são programas de computador que simulam o céu que seria visto de qualquer lugar do planeta Terra (alguns simulam, inclusive, o céu de outros locais, como da Lua). A maioria deles representa o céu como uma cúpula na qual estão projetadas as constelações, os principais astros do sistema solar e vários outros objetos celestes de interesse do público amador.

De acordo com informações do próprio sítio do programa na internet²⁸, o

²⁷ Ver nota 22.

Stellarium é um planetário de código aberto para o seu computador. Ele mostra um céu realista em três dimensões igual ao que se vê a olho nu, com binóculos ou telescópio. Ele também tem sido usado em projetores de planetários.

Embora existam diversos softwares deste tipo que podem ser obtidos na internet, optou-se pelo Stellarium por três motivos: a sua gratuidade, permitindo que todos os educandos pudessem ter acesso ao software; a interface gráfica bastante intuitiva, facilitando o seu uso por pessoas com poucos conhecimentos em astronomia; e por último, mas não menos importante, seu bonito visual.

Na primeira parte da atividade, logo após a apresentação geral do Stellarium e da simulação da aparência do céu no momento de seus respectivos nascimentos, observam-se as constelações presentes no céu neste dia e a partir dos diferentes resultados individuais discute-se o fato do céu ser diferente para cada época do ano por causa do movimento orbital terrestre. A seguir, utilizando uma ilustração contendo o Sol e a órbita da Terra (fora de escala) com a marcação do zodíaco ao redor desta, explicou-se como se define astronomicamente o signo²⁹ de uma pessoa, partindo do alinhamento Terra-Sol-Constelação oposta ao Sol. Os alunos puderam constatar, através do software Stellarium, qual seu signo astronômico (que em alguns casos é diferente do signo astrológico) e, a partir daí, iniciou-se uma discussão sobre a diferença entre o conhecimento astronômico e a astrologia; sobre a ideia de previsibilidade das características pessoais de alguém a partir da posição

²⁸Disponível em: <http://www.stellarium.org/pt/> <acessado em 13/03/2010>

²⁹Os signos astrológicos atuais são definidos a partir de uma lista pré-determinada de doze de constelações, sendo que a cada uma delas está atribuída a duração de um mês. Portanto, para se saber o signo de uma pessoa hoje basta olhar numa lista deste tipo. O signo astronômico, por sua vez, provém do alinhamento entre a Terra, o Sol e a constelação “encoberta” por nossa estrela no dia do seu nascimento. Como as constelações possuem tamanhos diferentes a duração do “encobrimento” é variável (menos de 20 dias para algumas e mais de 40 dias para outras). Além disso, durante o ano o Sol encobre uma 13ª constelação que não é considerada pela astrologia, Ofiúco.

da Terra em sua órbita no dia de seu nascimento e sobre a (im)possibilidade de previsão dos acontecimentos da vida diária individual em nosso planeta e sua relação causal com a data de seu aniversário. Tais discussões são importantes para sensibilizá-los quanto às diferenças entre astronomia e astrologia e para construir uma visão crítica sobre as relações propostas pelo senso comum entre nossa vida cotidiana e o cosmo.

Discutiu-se finalmente o conceito moderno de constelação e, também fazendo uso do software Stellarium, foram mostradas algumas das diversas representações que diferentes culturas, ao longo da história, fizeram da disposição das estrelas no céu, dando ênfase às culturas tupi-guarani e egípcia.

★ Aulas 3 e 4 - Viagem do Estudo do Meio

Objetivos específicos:

Apresentar e esclarecer os conceitos astronômicos: constelação e galáxia; Desenvolver uma melhor compreensão sobre as escalas de tamanho e distâncias envolvidas na astronomia; Observar o céu “de fato”, ou seja, com um olhar investigativo, carregado teoricamente; Utilizar a posição dos astros (como o Sol ou o Cruzeiro do Sul) para obter medidas de tempo e informações geográficas

Material utilizado:

Recursos multimídia. Gnômon caseiro (cartolina, massinha, vareta). Telescópios, lunetas e carta celeste.

Atividades realizadas:

Construção de um gnômon. Projeção de animação em vídeo e imagens. Discussão em grupo. Observação do céu a olho nu e com instrumentos.

Considerações sobre o desenvolvimento das aulas:

Durante a viagem de Estudo do Meio da série foram desenvolvidas algumas atividades ligadas ao tema: construção de um gnômon, mini-palestra sobre os objetos celestes visíveis durante a noite e duas noites de observação astronômica com o uso de telescópios e lunetas.

Dentre as atividades do estudo do meio, realizadas pelos alunos em algumas praias de Ubatuba, estava a construção de um pequeno gnômon feito com uma vareta de madeira fixada na posição vertical sobre uma folha de cartolina. Com ele se determinou, através de medidas do comprimento da sombra da vareta, a direção norte-sul e fez-se comparação desta com a indicada por uma bússola magnética. Posteriormente discutiu-se, a partir dos resultados, a noção de Passagem Meridiana, Meio-Dia Local e comparou-se o gnômon a um relógio de sol.

No período noturno, foram realizadas a mini-palestra e as duas noites de observação. Na palestra, com o auxílio dos programas Stellarium e Celestia³⁰, fez-se uma demonstração dos principais astros observáveis no céu naquela noite e na seguinte. E foram tiradas dúvidas sobre o que se pode e o que não é possível ver com auxílio de telescópios não profissionais, como os que seriam usados nas noites de observação astronômica.

³⁰ Celestia é um software simulador espacial, que permite ao utilizador “visualizar” uma viagem através do sistema solar ou outros sistemas estelares. É um programa gratuito que pode ser obtido através do endereço: <http://www.shatters.net/celestia/> <acessado em 15/07/2010>.

Durante as noites de observação, muitos educandos mostravam grande perplexidade diante da imensidão de estrelas visíveis em um local com pouca poluição luminosa. A olho nu identificaram-se as constelações mais famosas e proeminentes no céu daquela época (inverno no hemisfério sul): o Cruzeiro do Sul, Escorpião, Sagitário, etc.; indicou-se a imagem da Via Láctea no céu e a localização do centro da galáxia. Observaram-se com o telescópio o planeta Júpiter, estrelas duplas da constelação do Centauro e do Cruzeiro do Sul e alguns aglomerados estelares na constelação do Escorpião. A experiência de observar um planeta ou um sistema de estrelas duplas com “seus próprios olhos”, mesmo que através de um telescópio ou luneta, era indescritível para a maioria. Acredita-se que a palavra deslumbre consiga abarcar a sensação observada naqueles jovens que viam através de um telescópio pela primeira vez.

Nesta atividade foram resgatados os conceitos de constelação, do zodíaco, de galáxia e sistemas planetários apresentados nas aulas anteriores. Discutiu-se também como localizar o ponto cardinal Sul através da constelação do Cruzeiro do Sul.

★ Aula 5 - Experimento – Manômetro e pressão atmosférica

Objetivos específicos:

Resgate dos conceitos de pressão atmosférica, medidas de pressão e lei de Boyle, (tratados no primeiro semestre); Introdução ao conceito de atmosferas planetárias.

Material utilizado:

Manômetro de mangueira e trena.

Atividades realizadas:

Trabalho em grupo: abertura do manômetro e medida do desnível. Discussão dos resultados.

Considerações sobre o desenvolvimento da aula:

Após o retorno da viagem, utilizou-se uma aula para executar uma atividade na qual os educandos aferiam e discutiam os resultados obtidos com um experimento de medida de pressão atmosférica, realizada com o auxílio de um manômetro de mangueira construído pelos grupos durante o estudo do meio em Ubatuba, litoral de São Paulo. O manômetro nada mais era do que uma mangueira, com aproximadamente 2 metros de comprimento, disponibilizada em forma de "U", dentro da qual era colocada certa quantidade de água e cujas extremidades eram vedadas, aprisionando ar. A mangueira era trazida para a escola-alvo, na cidade de São Paulo, situada aproximadamente 700 metros acima do nível do mar.

A atividade consistiu de três partes: a) discussão prévia sobre o que ocorreria com o nível da água caso um dos lados do manômetro de mangueira fosse aberto, por causa da diferença de pressão entre as duas cidades; b) abertura de um dos lados do manômetro de mangueira e medida do desnível da água; c) discussão sobre os resultados.

Foi uma atividade interessante por resgatar os conceitos de pressão atmosférica, medidas de pressão e lei de Boyle, tratados no primeiro semestre e por permitir uma introdução ao tema das atmosferas planetárias, que seria abordado adiante quando

fosse discutida a interação luz-matéria e os fenômenos efeito-estufa e absorção da luz ultravioleta solar pela camada de ozônio terrestre.

★ Aulas 6 e 7 – A natureza física da Luz e o espectro eletromagnético

Objetivos específicos:

Ampliar o significado do termo “luz” com a apresentação do Espectro Eletromagnético, associando-o ao modelo ondulatório; Entender de forma introdutória a interação luz-matéria e a origem das emissões luminosas.

Material utilizado:

Recursos multimídia. Prisma e CD ou DVD.

Atividades realizadas:

Aulas expositivas. Atividade com prisma.

Considerações sobre o desenvolvimento da aula:

Nestas duas aulas expositivas discutiu-se o conceito de “Luz Visível” e sua decomposição através de prismas e CD’s (ainda sem a preocupação de investigar a origem de tal fenômeno). Analisou-se o significado do termo Luz, ampliando-o com a apresentação do Espectro Eletromagnético, associando cada tipo de onda eletromagnética a uma/um frequência/comprimento de onda. Discutiu-se também o conceito de luz não visível, como os raios ultravioleta e infravermelho, raios X e gama.

Realizou-se ainda uma atividade de “decomposição da luz branca”, na qual os alunos obtinham um arco-íris, com a ajuda de prismas e CD’s ou DVD’s.

★ Aula 8 – A interação luz-matéria: as fotos

Objetivos específicos:

Apresentar uma introdução à discussão da dualidade onda-partícula, a partir da interação luz-matéria.

Material utilizado:

Roteiro de atividade (disponível no Apêndice 2). Sala de revelação fotográfica. Lata, papel fotográfico e material para revelação.

Atividades realizadas:

Trabalho em grupo: carregar, fotografar e revelar com uma máquina tipo pinhole, feita com uma lata. Discussão coletiva.

Considerações sobre o desenvolvimento da aula:

Esta aula foi inspirada na atividade “Máquina Fotográfica”, presente do livro 2 do GREF (2002, p.250). Nela os alunos de posse de uma lata com um pequeno furo em sua lateral, no estilo das máquinas tipo “pinhole”, produziram fotografias a partir de um filme fotográfico preto e branco. E, após tirarem a “foto”, executavam o processo de revelação, obtendo o negativo da fotografia.

O positivo da foto era obtido de forma digital: os negativos eram escaneados (digitalizados) e com o auxílio de um software de tratamento de imagem (no caso, o Paint do Windows) sua “imagem negativa” era obtida, o que produzia o positivo da imagem. Alguns exemplos de fotos produzidas nesta atividade podem ser vistas no Apêndice 2.

Após a realização da atividade, foi feita uma discussão sobre o processo de formação da imagem no papel fotográfico, oferecendo elementos para uma introdução à dualidade onda-partícula.

★ Aula 9 – A interação luz-matéria: as cores

Objetivos específicos:

Entender de forma introdutória a interação luz-matéria e a formação das cores.

Material utilizado:

Disco de Newton. Sala escura. Lâmpadas com cores diferentes (RGB) e filtros de papel celofane. Recursos multimídia.

Atividades realizadas:

Projeção de luzes e imagens. Discussão coletiva.

Considerações sobre o desenvolvimento da aula:

A aula foi dividida em duas partes: a primeira delas utilizou um disco de Newton e a segunda fez uso da projeção de imagens e luzes coloridas sobre uma parede branca.

Na primeira parte da aula, com o Disco de Newton, apresentou-se a ideia física de que a Cor Branca provém de uma interpretação que o cérebro faz quando visualizamos um conjunto de cores.

A segunda parte desta aula foi inspirada na atividade “Investigando a cor da luz”, presente no livro 2 do GREF (2002, p.256), onde as cores dos objetos são discutidas a partir da interação luz-matéria, ampliando-se, ainda mais o leque de fenômenos a serem explicados.

4.3 – Bloco Temático II - Tópicos de Astrofísica

Objetivo Geral do Bloco

O objetivo geral deste bloco temático era, através de uma introdução à Astrofísica, explicitar a articulação do conhecimento físico, unindo o modelo cinético-molecular ao ondulatório (ambos discutidos no primeiro semestre) para explicar a interação luz-matéria, através do modelo de Bohr. Ademais, os conhecimentos obtidos deveriam ser aplicados na interpretação de fenômenos envolvendo Astronomia e a Astrofísica. Neste bloco, a ênfase estava perspectiva educacional integralizante do conhecimento.

A fim de atingir tal objetivo utilizou-se uma sequência didática que apresentava o Modelo Atômico de Bohr como ferramenta de interpretação da luz e sua interação com a matéria, partindo a seguir para aplicações deste conhecimento em fenômenos cotidianos. Concomitantemente, conceitos de astronomia e de astrofísica eram introduzidos e explorados com o auxílio daquele modelo.

Para este segundo bloco temático foram utilizadas 11 aulas. O Quadro 9 apresenta uma síntese das aulas desenvolvidas neste bloco.

Aula	Tema da aula	Atividades desenvolvidas	Material utilizado
10	Eletrostática – introduzindo o elétron	Experimento de Eletrostática. Discussão em grupo	Laboratório de Física. Roteiro de atividade. Canudos, meias de nylon e massinha.
11	Introdução ao modelo atômico de Bohr	Aula expositiva.	Recursos multimídia
12	O modelo atômico de Bohr	Aula expositiva Exercício de fixação	Roteiro de atividade. Recursos multimídia
13	Atividade: simulador do átomo de hidrogênio	Uso individual de software. Projeção de imagens. Discussão em grupo.	Sala de informática com acesso à internet. Recursos multimídia.
14	Semana de Ciência e Tecnologia	Palestra: “A Vida das Estrelas”	Recursos multimídia
15	O Sol e a estrutura das estrelas	Aula expositiva	Recursos multimídia
16	Medindo distâncias no Universo	Aula expositiva	Recursos multimídia
17	Lei de Snell (refração)	Experimento em grupo onde se determina o índice de refração da água.	Laboratório de Física. Roteiro de atividade. Banco óptico com laser vermelho, cuba semicircular e transferidor.
18	Espectro das Estrelas: Cor e Temperatura	Aula expositiva	Recursos multimídia
19	Composição Estelar (Diagrama HR)	Aula expositiva. Discussão em grupo.	Recursos multimídia
20	Construção do espectroscópio	Atividade em grupo onde se constrói um espectroscópio caseiro e se analisam qualitativamente a luz de diversos tipos de lâmpadas.	Laboratório de Física. Roteiro de atividade. Papel cartão, rede de difração (CD), lâmpada incandescente e lâmpadas gasosas de diversos tipos.

★ Aula 10 – Eletrostática – introduzindo o elétron

Objetivos específicos:

Apresentar o conceito de elétron, introduzindo o modelo atômico de Bohr.

Material utilizado:

Laboratório de Física. Canudos, meias de nylon, papel alumínio e massinha

Atividades realizadas:

Trabalho em grupo: construção de um pêndulo eletrostático e realização de experimentos de eletrostática. Discussão coletiva.

Considerações sobre o desenvolvimento da aula:

Através da construção de um pêndulo eletrostático³¹, foram desenvolvidos alguns experimentos de eletrostática, envolvendo atração e repulsão de canudos plásticos e pedaços de papel alumínio.

A partir dos resultados dos experimentos e como forma de explicação dos fenômenos observados era apresentado o conceito de elétron e discutidas as “regras” de atração e repulsão elétricas.

Finalmente, discutiu-se a concepção de matéria eletricamente carregada, a partir de uma estrutura atômica com a abundância ou ausência de elétrons, introduzindo assim o modelo atômico de Bohr.

★ Aulas 11, 12 e 13 – Introdução ao modelo atômico de Bohr.

³¹ Uma interessante simulação, que envolve a as atividades propostas pode ser encontrado no site da projeto Ciência na Mão da Ludoteca, disponível na internet em: http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=tex&cod=_pendulo <acessado em 01/08/2010>.

Objetivos específicos:

Introduzir o modelo atômico de Bohr e reinterpretar todos os fenômenos discutidos, de emissão e absorção de luz, com o uso deste modelo.

Material utilizado:

Recursos multimídia; Roteiro da Atividade “Exercícios em sala – Modelo de Bohr” (disponível no Apêndice 2); Sala de informática com acesso à internet.

Atividades realizadas:

Aulas expositivas; Exercício de fixação; Uso individual de software; Projeção de imagens; Discussão coletiva.

Considerações sobre o desenvolvimento das aulas:

Nestas três aulas realizou-se uma introdução ao Modelo Atômico de Bohr, por meio de duas aulas expositivas e uma aula-atividade com uso de software.

Na primeira aula apresentou-se o Modelo e reinterpretou-se os fenômenos discutidos, de emissão e absorção de luz, com o uso deste modelo atômico. A segunda aula deu continuidade ao tema e, como proposta de apreensão e utilização do modelo, foram realizados alguns exercícios em aula. O roteiro desta atividade “Exercícios em sala – Modelo de Bohr” está disponível no Apêndice 2. Na terceira aula, optou-se por refinar a ideia do modelo com o uso de um software que simula do átomo de hidrogênio³². Os alunos foram levados à sala de informática e individualmente utilizaram o software. Esta abordagem, mais lúdica garantiu a compreensão de aspectos importantes da interação luz-matéria explicados pelo

³² O software faz parte do “The Nebraska Astronomy Applet Project” e simula os níveis de energia de um átomo de hidrogênio de forma interativa. Pode-se simular a emissão de fótons a partir do reposicionamento do elétron ou a absorção de luz pelo átomo a partir de um “tiro” fotônico. O software pode ser acessado através do endereço: <http://astro.unl.edu/naap/hydrogen/hydrogen.html> <acessado em 25/07/2010>.

modelo, exemplificados na questão da absorção da radiação infravermelha pelos gases estufa e do ultravioleta pelo ozônio.

★ Aulas 14 e 15 – Falando das Estrelas

Objetivos específicos:

Apresentar o ciclo de vida das estrelas e introduzir os conceitos de geração de energia estelar e de sua estrutura interna.

Material utilizado:

Recursos multimídia

Atividades realizadas:

Palestra e Aula expositiva

Considerações sobre o desenvolvimento da aula:

A primeira semana do 4º bimestre iniciou-se com um evento especial na escola-alvo: a Semana de Ciência e Tecnologia. Durante esta semana, há uma alteração na grade de aulas com a inserção de atividades específicas sobre o tema. Em 2008, para o 1º anos do ensino médio ocorreram palestras, durante a manhã, e ao final de um dos dias uma noite de observação astronômica. Nesta semana realizamos uma palestra para o 1º ano com o tema “A vida das estrelas”, que contou com a projeção de um trecho de um episódio da série Cosmos, de Carl Sagan. Aproveitando o tema da palestra, na aula seguinte apresentou-se a estrutura interna das estrelas, com destaque para o Sol.

★ Aulas 16 – Medindo distâncias no Universo

Objetivos específicos:

Apresentar e esclarecer os conceitos astronômicos: galáxia e aglomerado galáctico; Desenvolver nos educandos uma melhor compreensão sobre as escalas de tamanho e distâncias envolvidas na astronomia, com ênfase nas distâncias interestelares; Apresentar alguns métodos de medidas de distâncias astronômicas, discutindo a abrangência e aplicabilidade de cada método.

Material utilizado:

Recursos multimídia

Atividades realizadas:

Aula expositiva

Considerações sobre o desenvolvimento da aula:

Nesta aula apresentaram-se alguns métodos de medida de distâncias astronômicas (Paralaxe, Cefeidas e Supernovas), indicando as vantagens e limitações de cada um, enquanto foram apresentados os conceitos de galáxia e aglomerados galácticos. A discussão do método da paralaxe, que é geométrico, se aproveitou dos conhecimentos de trigonometria que os alunos desenvolvem na disciplina de matemática durante o segundo bimestre, funcionando com uma aplicação prática do mesmo.

★ Aula 17 – Fenômenos ópticos (Refração e reflexão)

Objetivos específicos:

Observação a refração da luz e, através da Lei de Snell-Descartes, determinação do índice de refração da água.

Material utilizado:

Laboratório de Física ou sala que possa ser escurecida; Roteiro de atividade (disponível no Apêndice 2); Banco óptico com laser vermelho; Cuba semicircular transparente e transferidor.

Atividades realizadas:

Trabalho em grupo: experimento onde se determina o índice de refração da água.

Considerações sobre o desenvolvimento da aula:

Apresentou-se, nesta aula, o conceito de refração através de um experimento sobre a Lei de Snell-Descartes (refração). A partir dos resultados obtidos, interpretaram-se alguns fenômenos associados (lentes corretivas, arco-íris, aberração cromática, etc.), introduzindo, ainda, a física por trás das lunetas e telescópios.

★ Aulas 18, 19 e 20 – Espectroscopia Estelar

Objetivos específicos:

Apresentar os conceitos de espectros de emissão e absorção luminosa de átomos e substâncias; Introduzir o conceito de Espectroscopia Estelar, através da construção de um espectroscópio caseiro e de medidas qualitativas de espectros de lâmpadas;

Material utilizado:

Recursos multimídia; Laboratório de Física ou sala que possa ser escurecida; Roteiro de atividade (disponível no Apêndice 2); Papel cartão, rede de difração (CD), lâmpada incandescente e lâmpadas gasosas de diversos tipos.

Atividades realizadas:

Aula expositiva; Trabalho em grupo: construção de um espectroscópio caseiro e análise qualitativa da luz de diversos tipos de lâmpadas. Discussão coletiva.

Considerações sobre o desenvolvimento da aula:

O conceito de Espectroscopia Estelar foi apresentado em um conjunto de três aulas, sendo as duas primeiras teóricas. Nelas a “física das estrelas” foi introduzida através do estudo de seu espectro luminoso, onde foram explorados os conceitos de Cor, Temperatura e Composição Estelar³³ e como tais informações podem ser obtidas. O conceito de evolução estelar foi retomado com a apresentação sucinta do Diagrama HR (Hertzsprung-Russell)³⁴, na qual alguns aspectos da composição estelar foram rediscutidos.

A terceira aula, por nós entendida como o ponto alto deste “mini-curso” de astrofísica, ocorreu no laboratório didático, onde foi construído um espectroscópio a partir de papel cartão e uma rede de difração (CD). Com tal instrumento foram observados espectros (contínuos e descontínuos; de emissão e de absorção) de diversos tipos de lâmpadas.

Paralelamente a isto, foi proposta uma atividade onde os alunos simulavam a análise espectral de uma estrela numa das listas de exercícios (ver Apêndice 5), procurando aprofundar as discussões das aulas.

³³ Utilizou-se um software que faz parte do “The Nebraska Astronomy Applet Project”, chamado “Blackbody Curves and Filters Explorer”, que facilita a apresentação do conceito de Corpo Negro e da curva característica de uma estrela. O software pode ser acessado através do endereço: <http://astro.unl.edu/naap/blackbody/blackbody.html> <acessado em 25/07/2010>.

³⁴ Também se utilizou um software que faz parte do “The Nebraska Astronomy Applet Project”, chamado “Hertzsprung-Russell Diagram Explorer”, que promove uma visão bastante dinâmica deste Diagrama. O software pode ser acessado através do endereço: <http://astro.unl.edu/naap/hr/hr.html> <acessado em 25/07/2010>.

4.4 – Bloco Temático III - Tópicos de Cosmologia

Na segunda metade do quarto bimestre, o curso fez uma breve introdução à Cosmologia, utilizando-se, para tanto, de 6 aulas (Quadro 10).

Objetivo Geral do Bloco

O objetivo geral do terceiro bloco temático era promover uma introdução à Cosmologia e, ao mesmo tempo, demonstrar a força e os limites dos modelos físicos, dando ênfase à dimensão epistemológica do conhecimento físico, com a explicitação da Física como uma ciência em construção e do saber científico como algo inacabado. Neste bloco também seria retomada a expansão das dimensões espaço-temporais abordadas pela Astronomia.

Quadro 10 – Síntese do Bloco Temático III – Tópicos de Cosmologia			
Aula	Tema da aula	Atividades desenvolvidas	Material utilizado
21	As Gravidades Newtoniana e Einsteiniana	Aula expositiva	Recursos multimídia
22	Redshift de Estrelas e Galáxias (Efeito Doppler)	Aula expositiva	Recursos multimídia
23	Lei de Hubble	Atividade em grupo que proporciona um entendimento do conceito de Expansão do Universo	Recursos multimídia. Roteiro de atividade. Bexiga, barbante e régua.
24	Radiação Cósmica de Fundo e o Big-Bang	Aula expositiva	Recursos multimídia
25	Afinal, de que o mundo é feito? O Modelo Padrão	Aula expositiva	Recursos multimídia
26	Energia escura e matéria escura	Aula expositiva	Recursos multimídia

★ Aula 21 – As Gravidades Newtoniana e Einsteiniana

Objetivos específicos:

Discutir a evolução temporal dos conceitos físicos evidenciando esta ciência como algo em permanente construção; Introduzir conceitos de Relatividade Geral, através do modelo gravitacional einsteiniano; Introduzir uma reflexão sobre os princípios cosmológicos newtoniano e einsteiniano.

Material utilizado:

Recursos multimídia. Texto “As Gravidades” (disponível no Apêndice 2).

Atividades realizadas:

Leitura e discussão coletiva.

Considerações sobre o desenvolvimento da aula:

Utilizando um texto de viés histórico que apresenta três diferentes formas de enxergar a Gravidade utilizadas pela ciência nos últimos dois mil anos, foi promovida uma discussão sobre as diferenças entre as gravidades newtoniana e einsteiniana e os princípios cosmológicos derivados de cada uma delas.

Foram apresentadas, também, algumas imagens que representam cada um dos princípios cosmológicos abordados.

★ Aulas 22 e 23 – A Lei de Hubble

Objetivos específicos:

Introduzir conceitos de *Redshift* e Lei de Hubble

Material utilizado:

Recursos multimídia. Bexiga, barbante e régua

Atividades realizadas:

Aula expositiva; Trabalho em grupo: experimento expansão de uma bexiga.

Considerações sobre o desenvolvimento da aula:

Os conceitos de *Redshift* e *Blueshift* de estrelas e galáxias foram apresentados e foi proposta sua interpretação a partir do Efeito Doppler (que foi estudado no final do segundo bimestre no modelo ondulatório).

A Lei de Hubble foi apresentada teoricamente e posteriormente rediscutida através de um pequeno experimento com bexigas e barbante, proporcionando um entendimento do conceito de Expansão do Universo.

★ Aulas 24, 25 e 26 – O Big-Bang

Objetivos específicos:

Apresentar o conceito de Big-Bang, a partir de um o viés histórico, dando ênfase à dimensão epistemológica da construção do conhecimento científico; Introduzir o Modelo Padrão de Partículas;

Material utilizado:

Recursos multimídia

Atividades realizadas:

Aulas expositivas

Considerações sobre o desenvolvimento da aula:

Nas três últimas aulas do curso, apresentou-se o modelo do Big-Bang como explicação para o surgimento do universo, e como uma das interpretações possíveis da Lei de Hubble. Explicitaram-se os resultados experimentais que reforçam a confiança científica neste modelo, como a Radiação Cósmica de Fundo e a Nucleossíntese Primordial.

Como encerramento do curso, foi feita uma sucinta apresentação do Modelo Padrão de Partículas, indicando o que já se sabe sobre ele e o que se espera saber; sua força e sua fraqueza. Foram discutidos experimentos e equipamentos como os Aceleradores de Partículas (em especial o LHC). Tal discussão gerou a questão “Afinal, de que o mundo é feito?”, a qual não foi respondida, mas sim, deixada como provocação através de uma discussão sobre o que está atualmente em aberto na astrofísica e na cosmologia: os conceitos de Energia escura e Matéria escura, que poderão determinar o entendimento que fazemos sobre o início e os possíveis fins do universo.

O texto indicado aos alunos para esta parte do curso foi “Rumo à Cosmologia”, do professor Henrique Fleming³⁵.

No próximo capítulo, procura-se levantar elementos que permitam a avaliação de certos aspectos da proposta. Explicitam-se os instrumentos utilizados e a

³⁵ Disponível em www.hfleming.com/rusp_fleming.pdf <acessado em 15/06/2010>.

metodologia de análise escolhida, a partir da qual foram elaboradas algumas articulações entre as respostas que os educandos que passaram pela proposta deram aos instrumentos de análise.

5 – Avaliando aspectos da proposta

A fim de perceber o grau de compreensão que os educandos tiveram dos conceitos trabalhados no segundo semestre, quando apresentados aos Tópicos de Astrofísica e Cosmologia, e para verificar se ocorreram as mudanças que a proposta do curso buscava em sua visão sobre o mundo e sobre o conhecimento físico, utilizamos dois instrumentos de análise: a última prova bimestral do ano e um questionário de avaliação do curso. Solicitou-se aos alunos que nos deixassem utilizar suas avaliações como elementos de pesquisa e a maioria concordou: dos 93 alunos que fizeram a prova bimestral, 77 concordaram. E o questionário de avaliação foi respondido por 78 alunos (não necessariamente os mesmos que entregaram as avaliações).

A prova bimestral foi realizada no final do quarto bimestre de 2008 e o questionário foi aplicado uma semana depois, no último dia de aula do ano letivo. Porém, na apresentação e análise feita destes instrumentos inverteu-se a apresentação dos mesmos, pois se acredita que tal mudança torna mais claras as considerações realizadas.

O questionário de avaliação do curso foi construído com uma dupla intenção: observar tanto o grau de satisfação dos estudantes com o curso aplicado, quanto às mudanças de visão provocadas pelo mesmo. Ele foi aplicado depois da prova bimestral para ter se uma visão geral do impacto do curso e para que o aluno não tivesse a sensação de que estaria sendo avaliado pelo instrumento, causando assim uma distorção em suas respostas.

Ele não pedia a identificação do aluno e era constituído de seis questões dissertativas abertas (havia um espaço de cinco linhas para a resposta de cada questão). Três delas versavam sobre o “fazer científico” e sobre o conhecimento científico e buscavam observar qual o entendimento que os educandos faziam sobre tais questões; e as outras três questões almejavam entender as contribuições do curso para sua visão de mundo, para sua relação com a ciência e desta com seu cotidiano.

Este instrumento de coleta de dados forneceu um material muito rico em informações obtidas a partir da leitura das respostas. Muitos alunos utilizaram todo espaço disponível em suas respostas, o que significa que, para a análise poderíamos utilizar desde pequenas frases com uma ou duas linhas até pequenos textos de cinco linhas.

Os questionários respondidos foram embaralhados e, posteriormente, receberam um código alfanumérico sequencial (Q1, Q2, Q3... Q78). Uma cópia do questionário está disponível no Apêndice 4.

Já a prova bimestral, uma avaliação individual escrita, era um dos vários instrumentos utilizados no curso para análise dos conhecimentos adquiridos pelos alunos no bimestre. Seu objetivo era avaliar a compreensão e articulação dos conteúdos trabalhados, principalmente, no último bimestre. Intencionalmente, nesta prova bimestral foi incluída uma questão aberta, específica sobre o tema do curso no segundo semestre.

A prova era composta de dezesseis questões, sendo: dez questões objetivas versando sobre os conteúdos desenvolvidos nos últimos dois bimestres, 5 questões dissertativas abertas que tratavam também sobre estes conteúdos e uma última questão dissertativa aberta, que sondava as impressões dos educandos sobre os temas de astrofísica e cosmologia desenvolvidos no último semestre do curso (nesta questão havia um espaço de doze linhas para a resposta).

Entende-se que a análise das respostas das quinze primeiras questões permite avaliar a aprendizagem com relação aos conteúdos conceituais trabalhados no curso, enquanto a questão final aborda o entendimento feito por eles do curso como um todo, dialogando com as resposta do questionário de avaliação.

Como material de análise deste instrumento têm-se as respostas das 10 questões da parte objetiva e cinco questões dissertativas versando sobre o conteúdo do semestre. As questões dissertativas têm por volta de três linhas de resposta por educando. E a questão final é um pequeno texto de cerca de 10 linhas do qual podem ser extraídas pequenas frases ou parágrafos inteiros.

As provas também foram embaralhadas e, posteriormente, receberam um código alfanumérico sequencial (P1, P2, P3... P77). Uma cópia da prova bimestral está disponível no Apêndice 3.

5.1 – A Análise de Conteúdo como metodologia de análise das respostas

Diante do material de análise que tínhamos disponível, as avaliações bimestrais dos educandos e os questionários, pareceu-nos que a metodologia mais interessante, para a detecção do impacto do curso, era aquela apresentada por Laurence Bardin, a Análise de Conteúdo (BARDIN, 2009). Isto porque ambos os instrumentos de coleta de material de análise possuíam questões abertas que forneciam uma ampla gama de respostas e as técnicas propostas por Bardin forneciam elementos de análise não só qualitativos, mas também quantitativos, permitindo-nos desenvolver interpretações muito interessantes sobre materiais descritivos com este formato.

A Análise de Conteúdo pode ser definida como

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter por procedimentos sistemáticos e objectivos de descrição do conteúdo das mensagens indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens. (BARDIN, 2009, p.44)

Dentre as diversas técnicas de Análise de Conteúdo optamos pela Análise Categorical por entender que esta se aplicava melhor aos nossos instrumentos. De acordo com Bardin, a Análise Categorical é a mais antiga e mais utilizada dentre as técnicas análise de conteúdo e “funciona por operações de desmembramento do texto em unidades, em categorias segundo reagrupamentos analógicos.” (BARDIN, 2009, p.199).

Resumidamente a técnica da Análise Categorical pode ser organizada em três fases: Descrição, Inferência e Interpretação. A descrição é a enumeração das

características do texto, observadas após um exame do instrumento, de onde emergem certas categorias. A inferência é uma dedução lógica, baseada na descrição feita, de conhecimentos sobre o emissor da mensagem ou sobre seu meio. E a interpretação é a significação concedida a estas características.

E, ainda olhando para a natureza de nossos instrumentos de análise, com questões abertas fornecendo discursos diretos, optou-se pela Análise Temática, pois segundo a própria autora,

Entre as diferentes possibilidades de categorização, a investigação dos temas, ou *análise temática*, é rápida e eficaz na condição de se aplicar a discursos directos (significações manifestas) e simples. (BARDIN, 2009, p.199)

Na Análise Temática, a partir das categorias elecandas no processo de descrição, são inferidos Temas nos quais os conhecimentos dos emissores são agrupados, formando uma estrutura lógica que permite a análise do material e a interpretação das respostas dadas ao instrumento de análise.

Em nosso caso, tanto o questionário como as questões dissertativas da prova bimestral foram submetidas às técnicas da Análise Temática. E os resultados desta análise são apresentados a seguir.

5.2 – Análise do questionário de avaliação do curso

Primeiramente aplicaram-se as técnicas da Análise de Conteúdo nas respostas dos questionários, questão por questão, buscando em cada uma delas quais seriam as categorias de análise que apareceriam. Montaram-se, então, algumas categorias por questão e ao final percebeu-se que várias delas se sobrepunham, ou seja, categorias que apareciam em uma questão apareciam também em outras. Isto porque muitos educandos repetiam as afirmações feitas em uma resposta nas outras.

Optou-se, portanto, por observar as categorias que apareciam no questionário como um todo, com ênfase em três questões, que se mostraram as mais significativas do ponto de vista de separação das categorias: as questões 2, 5 e 6. Isto não quer dizer que as demais questões foram desprezadas, apenas que, na maioria dos casos, os elementos que apareciam nas demais questões repetiam as afirmações feitas nestas questões.

Os enunciados das questões 2, 5 e 6, eram:

2. O curso de Física do 1º ano modificou sua visão sobre o mundo e sobre o Universo?

- Caso tenha respondido a questão anterior (2) afirmativamente, o que mudou? Descreva com exemplos.

- Caso tenha respondido a questão anterior (2) negativamente, o que você já sabia? Descreva com exemplos.

5. Qual ou quais as contribuições do curso de Física do 1º ano para seu entendimento das Ciências Naturais e em especial da Física?

6. Qual ou quais as contribuições do curso de Física do 1º ano para sua vida? Ele serviu para algo?

Das respostas foram inferidas **quatro** categorias de análise:

- **1 – “Mudança na visão de mundo”** - Aquelas que citam que o curso mudou seu jeito de olhar para as coisas que os cercam, fazendo-os observar os fenômenos de outra forma, mais racional, procurando interpretá-los e buscando relações;
- **2 – “Melhor compreensão do fazer científico”** - Aquelas que relatam que o curso lhes fez olhar para a ciência de uma forma mais crítica e entender, por exemplo, que ela se baseia no uso de modelos;
- **3 – “Aumento do interesse pela ciência”** - Aquelas que descrevem como o curso aumentou sua curiosidade e interesse sobre a ciência, especialmente sobre a Física e a Astronomia; e
- **4 – “Nova visão cosmológica”** - Aquelas que relatam que o curso lhes proporcionou uma expansão em sua visão do Universo, entendendo-o como mais complexo do que antes.

Passaremos, então, a descrever cada uma destas categorias.

A categoria 1 – “Mudança na visão de mundo”

Dentro desta categoria foram agrupadas aquelas respostas que revelam um posicionamento diferenciado dos alunos frente ao conhecimento que adquiriram e diante dos fenômenos de seu cotidiano.

A maioria das respostas dadas faz parte da categoria 1, que está presente em 66 questionários, correspondendo a cerca de 85% do total da amostra, ou seja, a maior parte das respostas afirma que o curso fez com que entendesse melhor o mundo, as coisas ao seu redor e seu cotidiano.

Tal ideia pode ser vista em relatos que caracterizam o quanto aprenderam com o curso, como,

“Eu aprendi muito sobre o mundo e sobre o Universo” (Q64).

“Antes eu não sabia quase nada, e agora eu sinto que sei o bastante para entender várias coisas um pouco mais complexas” (Q14).

“Mudou tudo, a forma de ver as coisas. A luz por exemplo vejo ela de outro modo, imagino a sua propagação etc.” (Q44).

Outros afirmam que seu olhar para o mundo mudou, que ficou mais racional,

“(…) Hoje sou mais cética. O que me levou a ser mais cética foi não me basear em discursos mitológicos para explicar as coisas e sim aprender a fazer ciência de um modo mais racional, tentando compreender melhor as coisas.” (Q32).

“Eu via o Universo de uma forma mais mística como a astrologia e depois do curso tenho um olhar mais racional” (Q9).

“Acho que o curso intensificou o meu lado questionador, indagador, e isto ajuda na Física e em todas as Ciências Naturais” (Q35).

Há os que percebem que sua visão dos fenômenos está, agora, carregada de teoria:

“Mudou tudo. Antes tinha uma visão completamente fechada e agora consigo interpretar várias coisas” (Q66).

“À partir deste curso, consegui entender o que as teorias ou modelos estudados explicam” (Q45).

E alguns educandos, finalmente, procuram explicar a realidade usando o conhecimento adquirido no curso, que, segundo eles, proporcionou um gosto diferenciado pelo saber:

“Eu devo ser a única pessoa que vai para a praia a noite para analisar o céu, ou que olha para uma foto queimada e entende o que aconteceu ali” (Q49).

“Não sabia como era feito o Planeta Terra, como surgiu e o que havia no Universo, não sabia nada sobre pressão, estrelas, fenômenos naturais, AGORA SEI!” (Q62).

“Eu mudei o modo de ver o Universo, agora tudo que às vezes não significava nada, agora faz sentido. Como por exemplo, a incidência das cores e do som no meio. Eu nem sabia que as cores existiam devido às frequências!” (Q77).

Entendemos que estas quatro “visões” que apareceram nas respostas (a questão do aprendizado, a questão da racionalidade, o olhar carregado de teoria e a mudança na forma de enxergar a realidade) correspondem à uma mesma ideia: a de que o curso provocou nos educandos uma mudança em sua forma de ver e se relacionar com o mundo. E que, portanto, elas podem ser agrupadas em uma mesma categoria.

A categoria 2 – “Melhor compreensão do fazer científico”

A segunda categoria inferida das respostas está presente em cerca de 73% dos questionários (57 deles) e aponta que o curso provocou um entendimento melhor do tipo de trabalho feito por um cientista.

Citações como,

“Serviu para eu pensar diferente, e não achar que a física seria apenas experimentos em laboratórios” (Q43).

“Foi muito bom ter conhecido o modo de pensamento de cientistas em determinadas épocas” (Q45).

“Hoje eu vejo o “fazer científico” com mais compreensão e respeito pelo esforço que vejo que eles fazem e o quão eles sabem” (Q72).

revelam reflexões sobre a ciência e seus construtores.

Ademais, alguns relatos revelam um olhar mais crítico sobre o fazer científico:

“Antes eu não sabia que o modelo é representação da realidade, pois acreditava que eram com certeza a realidade” (Q11).

“Achava que os dados científicos eram todos corretos e com bases concretas. Porém hoje sei que são todos baseados em teorias” (Q18).

“Antes eu pensava que era como os comerciais de TV, os cientistas têm sempre razão. Mas vi que não é bem assim, eles trabalham em cima de teorias e tentam explicar o fenômeno do mundo. Mas muitas coisas não são provadas e sim suposições.” (Q19).

E, ainda nesta categoria, aparecem respostas indicando uma mudança de postura muito mais profunda por parte de alguns educandos, com relação a dogmas ou “verdades”, como podemos ver na citação a seguir:

“(…) me fez questionar aquelas pessoas que acham que possuem a verdade absoluta” (Q4).

Atreiou-se a essa categoria todos os olhares e questionamentos formulados sobre o fazer científico, entendendo que os mesmos mostravam uma alteração na compreensão que os estudantes faziam da atividade dos cientistas e da própria ciência, revelando um olhar mais crítico sobre esta área do conhecimento.

A categoria 3 – “Aumento do interesse pela ciência”

Outro grande grupo de respostas, que apareceu em cerca de 40% dos questionários (31 respostas), indicava que o curso havia provocado um aumento do interesse e da curiosidade sobre as ciências, e de forma especial, a Física e a Astronomia:

“Antes eu não tinha nenhum tipo de interesse em Física ou astronomia e não fazia questão de me manter atualizada em questões como essa. Agora eu procuro saber o que está acontecendo e acho muito interessante, pois estamos descobrindo o ambiente em que vivemos, o universo” (Q49).

“Me fez abrir novas janelas para o estudo de ciências e me criou um grande interesse pela matéria, o que me fez estudar por prazer coisas além da sala de aula” (Q65).

“Eu passei a me interessar mais por física e por astronomia. Certa vez, eu passei por uma banca e reparei em quantas revistas científicas tinham. Eu me perguntei por que de que uma hora para outra tinham surgido tantas. Depois eu percebi que elas sempre estiveram lá, só que eu nunca tinha me interessado.” (Q59).

Com relação específica à Astronomia, é possível perceber que o curso provocou ou intensificou algumas paixões:

“Não tinha noção de astronomia, coisa que gosto muito. (...) pretendo ser um “amante” de astronomia para sempre (...)” (Q24).

“(...) eu quero ser um astrônomo, e acho que nunca vou esquecer do que aprendi esse ano” (Q2).

Alguns alunos indicavam que passaram a “enxergar” a Física no seu cotidiano:

“Penso sobre física quando ligo a TV ou o rádio” (Q53).

“O curso fez o meu interesse por explicações aumentar, senti mais vontade de conhecer a Física, entrava em discussões sobre modelos e tentei elaborar alguns próprios, para me explicar” (Q20).

Dois grupos de respostas (as que falam literalmente do aumento de interesse pela ciência e aquelas que citam o gosto pela Astronomia) deixam claro o incremento que

o curso provocou no apreço que os educandos tinham por esta área do conhecimento e acrescentou-se a esta categoria, por entender que indicavam o mesmo tipo de aproximação com o saber, um terceiro grupo de respostas que manifestavam esta mesma estima com relação à Física, ao citá-la com um certo carinho ou cuidado especial.

A categoria 4 – “Nova visão cosmológica”

Finalmente, a quarta categoria de análise inferida, que também aparece em 40% das respostas, indica uma outra contribuição do curso: provocou uma nova visão cosmológica.

Há aqueles alunos que sucintamente afirmam apenas que seu olhar para o mundo foi ampliado, como

“Expandiu a visão de universo” (Q6).

ou

“[...] o meu conhecimento sobre os astros e como eles são analisados aumentou muito” (Q7).

Outros demonstram, em suas respostas, terem ganhado uma percepção maior das escalas de tamanho envolvidas na Astronomia:

“(...) percebi que o Planeta Terra é uma migalha comparado com o gigante universo” (Q36).

“Eu não tinha uma noção do quanto o Universo é GRANDE!” (Q27).

“Me ajudou a ter uma noção melhor de tamanhos e distâncias e a quantidade de coisas resentes no universo” (Q22).

“Eu não tinha a perspectiva macro e micro, não compreendia a grandeza do universo nem a minuscularidade das partículas” (Q47).

E, finalmente, outros apontam para uma mudança profunda em sua visão de mundo e de universo, provocada pelo curso:

“Mostrou que possivelmente não somos os únicos com vida no universo e a imensidão que este é” (Q8).

“Através do conhecimento do Universo, podemos ter conhecimento de muitos outros aspectos da vida” (Q39).

“Agora eu vejo o mundo, o Universo e o funcionamento de ambos com mais detalhes e consigo compreender um pouco melhor a composição e a estrutura de ambos” (Q58).

“O universo é monstruoso e sou uma pessoa nesse espaço todo! Acho que foi importante para valorizar tudo ao meu redor” (Q52).

Nesta categoria foram agrupados os três diferentes grupos de respostas citados acima que, a nosso ver, possuíam algo em comum: explicitavam que “seus Universos” não eram mais os mesmos após terem passado pelo curso.

5.3 – Análise da prova bimestral

Neste trabalho, analisaram-se as dez questões objetivas da prova e a última questão dissertativa, sobre o tema de astrofísica e cosmologia. Todos os resultados a seguir se baseiam nas 77 provas que correspondem à nossa amostra.

Utilizou-se uma análise quantitativa das respostas na parte objetiva da prova e as ferramentas da Análise de Conteúdo nas respostas de sua parte dissertativa.

A parte objetiva

Cada questão objetiva possuía cinco alternativas de resposta, das quais apenas uma foi considerada correta. O índice médio de acertos desta parte da prova foi de **73%** e a distribuição de acertos por questão pode ser observada no Quadro 11.

Quadro 11 – Índice de acertos por questão, na parte objetiva da prova bimestral.

Questão	Erros	Acertos	Percentual de acertos
1	6	71	92%
2	19	58	75%
3	24	53	69%
4	31	46	60%
5	30	47	61%
6	43	34	44%
7	4	73	95%
8	8	69	90%
9	5	72	94%
10	37	40	52%

Tal índice médio de acertos da parte objetiva (73%), quando comparado com a média das notas totais da prova (6,5 pontos) ³⁶, indicava que os alunos obtiveram um desempenho levemente superior nesta parte da prova, com relação à parte dissertativa.

Assim, na tentativa de verificar se a parte objetiva da prova estava realmente discriminando os conhecimentos adquiridos pelos alunos ou se seus resultados representavam uma anomalia na avaliação, procurou-se examinar a existência de uma correlação entre o desempenho dos alunos na parte objetiva da prova e sua nota total de prova (parte objetiva + dissertativa). Construiu-se, então, o Gráfico 1 com tal intenção.

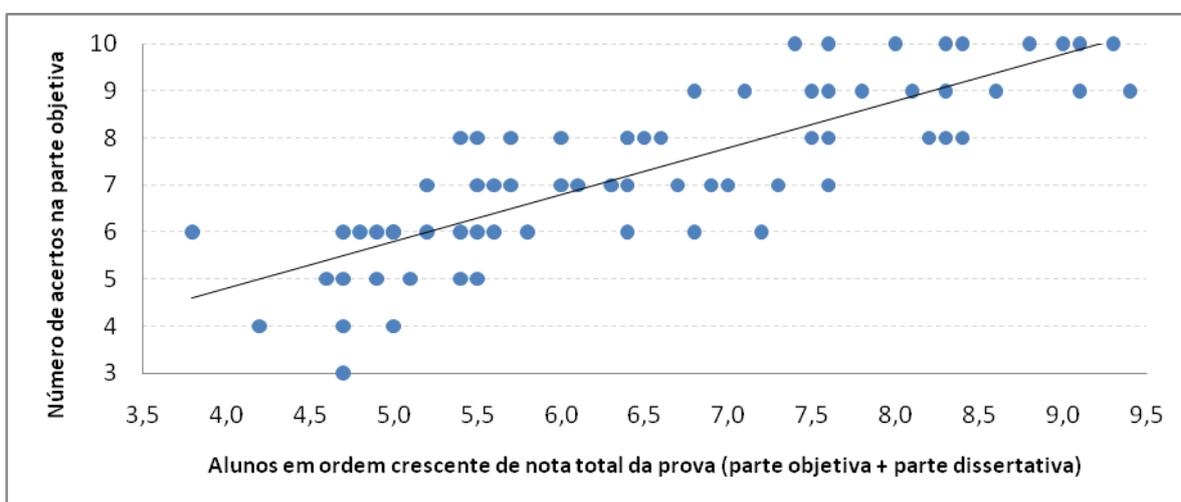
³⁶ A prova bimestral foi aplicada à totalidade dos alunos da série e sua nota variava de zero a dez pontos. Na escola-alvo o resultado de uma avaliação é considerado insuficiente quando sua nota é inferior a 5,0. A **média** das notas das 93 provas foi de **6,3 pontos**, sendo a menor nota 0,8 pontos e a maior 9,4 pontos, indicando um aproveitamento médio satisfatório e um alto índice de alunos com notas acima do valor mínimo esperado (a mediana das notas ficou em 6,1). Em nossa amostra de 77 provas, a **média** foi de **6,5 pontos**, levemente superior à média do total, sendo a menor nota da amostra 3,8 pontos e a maior 9,4. Das 16 provas que não tivemos acesso, a maior parte era de notas inferiores a 5,0 pontos, isto porque alguns dos alunos que tiraram notas abaixo da média a utilizaram como ferramenta de estudo para o período de recuperação, que se deu a seguir, e, infelizmente, boa parte deles não nos devolveu sua prova após este período. As provas que não pudemos analisar tinham as seguintes notas:

0,8	2,4	3,7	3,9	4,0	4,1	4,3	4,5	4,9	5,1	5,1	5,7	6,7	7,7	8,7	8,8
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

A média das notas das 16 provas a que não tivemos acesso ficou em 5,0 pontos e dentre as dez piores notas da prova, oito faziam parte deste grupo. Isto indica que nossa análise das provas deve levar em conta que aproximadamente 17% das provas estavam ausentes, sendo que dentre estas estavam boa parte das piores notas: dos 93 alunos que fizeram a prova, 20 tiraram nota inferior a 5,0 pontos e destes 9 não nos entregaram a prova para análise.

Tal gráfico indica a presença de uma correlação (linha contínua) entre a nota total da prova do aluno (parte objetiva + dissertativa) e seu número de acertos na parte objetiva da prova. Ou seja, os alunos com melhor desempenho na prova acertaram, também, mais questões objetivas na mesma. Pode-se observar, por exemplo, que os alunos com nota total por volta de 5,2 tiveram 6 acertos na parte objetiva da prova e alunos com nota total próxima a 8,5 tiveram cerca de 9 acertos.

Gráfico 1 - Número de acertos nas questões objetivas em função da nota total aluno na prova.



A correlação observada no Gráfico 1 indica que a parte objetiva da prova discriminou os conhecimentos adquiridos pelos alunos, ou seja, esta parte da prova poderia ser utilizada como indicador do desempenho do aluno na prova.

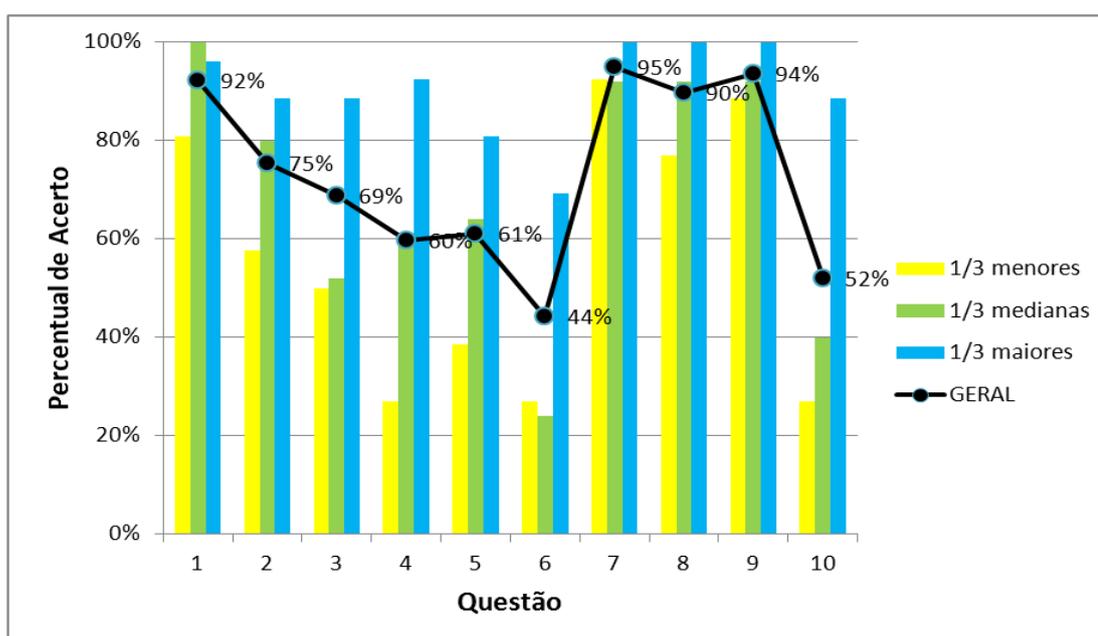
Diante disto e pelo fato das questões dissertativas apresentarem certa redundância temática com relação à primeira parte da prova, optou-se por analisar apenas a parte objetiva da mesma.

Ainda no Gráfico 1 pode-se observar a formação de três “patamares” distintos no número de acertos em função das notas totais das provas: um primeiro patamar de **6**

acertos na parte objetiva com prova de nota total inferior a 5,5 (cinco e meio), um segundo patamar de **8 acertos** que ocorre nas provas com nota total entre 5,5 (cinco e meio) e a 7,2 (sete vírgula dois) pontos e um terceiro patamar, de **10 acertos na parte objetiva**, formado pelas provas de maior nota total (acima de 7,2 pontos). A presença de tais patamares indicava uma separação de três grupos distintos de resultados: aquele que corresponderia às menores notas, o das medianas e o das maiores notas. Pensando assim, elaborou-se o Gráfico 2, que procurava facilitar a análise de desempenho, na parte objetiva da prova, dos alunos de cada um destes grupos.

Na prática, o Gráfico 2, apresenta os dados do Quadro 5, separados para a terça parte das provas com os menores resultados (notas até 5,5 pontos), a terça parte com resultados medianos (notas até 7,2 pontos) e a última parte onde se encontravam as provas com as maiores notas.

Gráfico 2 - Percentual de acertos nas questões objetivas, por questão, incluindo a separação por grupo de resultados em função da nota aluno.



Dentre os três grupos de resultado destacam-se que:

- No grupo com as melhores notas, todos os alunos acertaram as questões 7, 8 e 9. E as demais questões tiveram índices de acerto superiores a 80%, exceto a questão 6. A média de acertos deste grupo foi de 90% em cada questão.
- No grupo intermediário, com média de acerto de 70% por questão, todas as questões tiveram notas acima de 60% de acertos, excetuando-se as questões 6 e 10, ambas com os menores índices de acertos da prova.
- O grupo com 1/3 das menores notas obteve uma média de acertos de apenas 57% das questões. Neste grupo as questões com menor índice de acertos, apenas 27% em cada questão, foram a 4, a 6 e a 10.

As questões com maior índice de acerto em toda a prova (1, 7, 8 e 9) dissertavam sobre temas bastante diversos. Discute-se a seguir cada um de seus resultados.

A questão 7, com maior índice de acertos na prova, versava sobre métodos de medida de distâncias astronômicas e propunha ao educando escolher dentre os métodos apresentados aquele que seria o mais correto de se utilizar para medir a distância até a estrela *Proxima Centauri*, situada a 4,3 anos-luz de distância. A maioria absoluta dos educandos optou corretamente pelo método mais eficiente para efetuar a medida proposta, o da Paralaxe, indicando uma boa compreensão das distâncias e escalas envolvidas na Astronomia e dos métodos utilizados para realizar tais medidas.

A segunda questão mais acertada na prova foi a de número 9, que falava sobre a definição do conceito astronômico *Redshift* (desvio para o vermelho) buscando sua

correlação com a velocidade de afastamento das galáxias. Tais resultados mostram a assimilação do conceito e uma boa relação do mesmo com o *efeito Doppler*. O entendimento de tais conceitos é fundamental para a compreensão do fenômeno de Expansão do Universo proposto pelo astrônomo Edwin Hubble, na década de 1920, e da Lei que leva seu nome.

A questão 1 procurava relacionar a ocorrência de um arco-íris, comparando a gota d'água com uma parte de um espectroscópio, que os alunos tiveram oportunidade de construir e utilizar nas aulas de laboratório. O alto índice de acerto indica que o princípio de funcionamento de um espectroscópio foi bem compreendido e os alunos conseguiram extrapolar tal conhecimento para outros fenômenos.

Já a quarta questão, em percentual de acertos, a de número 8, discutia, a partir de um pequeno texto sobre a polêmica ao redor do conceito do Big-Bang, sobre o fazer científico e suas características. Os resultados dos acertos apontam para uma boa compreensão de questões epistemológicas envolvendo a ciências naturais e a atividade do cientista.

Por outro lado a questão 6, que teve o menor índice de acertos, buscava observar a compreensão que os educandos faziam da propagação de ondas eletromagnéticas no vácuo e as implicações impostas pela finitude da velocidade da luz nas comunicações interestelares. Metade dos erros esteve associado à ideia de que o vácuo impede de alguma forma a propagação dos sinais transmitidos pelo espaço e a outra metade apontava para interferências que o som sofreria ao percorrer grandes distâncias. Estes resultados indicam certa confusão nas respostas dadas à

questão, pois ou os alunos foram induzidos de alguma forma a pensar apenas nas comunicações interestelares como sendo efetuadas apenas por ondas sonoras e tentaram associar as dificuldades de comunicação interestelar à existência do vácuo entre as estrelas ou eles confundiram ondas sonoras (mecânicas) com ondas eletromagnéticas o que é conceitualmente mais grave.

A questão 10 foi a segunda com menor índice de acertos, o que era de se esperar por ser a questão mais difícil desta parte da prova. Ela almejava que o educando relacionasse a tendência observada num gráfico (Sequencia Principal num Diagrama HR), indicando uma relação de proporcionalidade entre a massa e a luminosidade nas estrelas, com seus conhecimentos sobre física estelar, em especial sobre a fusão nuclear. O interessante é que a maior parte (80%) dos educandos que errou esta questão assinalou como correta a alternativa D, o que indica que talvez eles estivessem pensando nas Gigantes Vermelhas, e foram induzidos por estas estrelas luminosas e frias. Um erro desta natureza é mais aceitável do que qualquer outro.

Conforme comentado acima, o grupo de alunos com 1/3 das menores notas obteve uma média de acertos de apenas 27% nas questões 4 e 10. Isto era de se esperar visto que estas questões estavam relacionadas: a questão 4 versava sobre a origem da energia nos núcleos das estrelas e seria muito estranho se alunos que erraram tal questão conseguissem responder corretamente a questão 10. O índice de erros equivalente nestas questões demonstra coerência em suas respostas.

De uma forma geral, os índices de acertos na parte objetiva da prova indicam que boa parte dos conceitos e conteúdos estudados sobre Astrofísica e Cosmologia no

bimestre foi bem compreendida pela maioria dos educandos. A fim de buscar uma correlação destas respostas com a impressão causada pelo curso, uma análise da questão final se faz necessária.

A questão dissertativa final

A última questão da prova bimestral era uma questão aberta, dissertativa e específica sobre o tema de astrofísica e cosmologia. Seu enunciado era: “*Escreva um texto de aproximadamente 10 linhas sobre o que você achou de interessante ou importante no estudo dos temas desenvolvidos neste último semestre (Astrofísica e Cosmologia).*”

Sua intenção, já explicitada no enunciado, era provocar no estudante um momento de síntese do conhecimento apresentado e discutido durante aquele semestre do curso de Física e perceber quais seriam as relações e extrapolações que os mesmos seriam capazes de fazer.

Utilizaram-se, também aqui, as ferramentas da Análise de Conteúdo (BARDIN, 2009), para interpretar as respostas dadas pelos educandos a esta questão. No quadro 12 apresentam-se os resultados da análise das 75 respostas dadas (dois alunos não responderam à questão), na qual se procurou quantificar o número de vezes que cada tema ou conceito era citado ou comentado. As três primeiras colunas do quadro indicam os resultados deste levantamento e a quarta coluna é uma inferência dos resultados, face às categorias propostas na análise dos questionários. Percebe-se que há uma grande correlação entre os temas citados nos

dois instrumentos analisados. Também foi incluída uma quinta categoria, **5 – “Apropriação do Conhecimento”**, que incorporava uma grande quantidade de conteúdos mencionados pelos educandos em suas respostas.

Quadro 12 – Frequência de citações de temas/conteúdos na questão dissertativa final.

Citações	Percentual	Tema ou conceito citado	Categoria
8	11%	Nova Visão de Mundo	1 – “Mudança na visão de mundo”
22	29%	Funcionamento da Ciência / Uso de Modelos	2 – “Melhor compreensão do fazer científico”
43	57%	Gostou / Elogiou o curso	3 – “Aumento do interesse pela ciência”
5	7%	Gostar de Ciências / Física	
24	32%	Nova Visão Cosmológica	4 – “Nova visão cosmológica”
21	28%	Espectro / Espectroscopia	5 – “Apropriação do Conhecimento”
21	28%	Distâncias no universo/ Cefeidas / Paralaxe	
17	23%	Big-Bang	
14	19%	Sol / Estrelas / Galáxias	
12	16%	Universo em expansão/ Efeito Doppler	
10	13%	Redshift	
6	8%	Cosmologia	
5	7%	Modelo atômico de Bohr	
4	5%	Relatividade de Einstein	
2	3%	Linhas de Fraunhofer	

A categoria 1 – “Mudança na visão de mundo”, aparece em diversas respostas, destacando-se a aplicabilidade dos modelos estudados e a transferência do conhecimento aprendido nas aulas para o cotidiano do educandos. Inúmeras citações se encaixam nesta categoria, como:

“(…) pude olhar de forma mais racional ou até mesmo científica para questões como a formação do universo e de todos os astros existentes. Pude explicar problemas do dia-a-dia, com o aprendido em sala de aula” (P28).

“Percebi [...] que nós tanto temos ainda há descobrir/investigar e sobre o que acontece ao seu redor” (P20).

“Aprender os conceitos físicos de uma brincadeira de criança como o arco-íris da bolinha de sabão, do CD e do próprio arco-íris do céu, enriqueceu meu conhecimento” (P69).

“Estas ideias de ir relacionando com a realidade fica muito mais gostoso e fácil de aprender, sem precisar ficar decorando muito” (P61).

“Pude aprender também como relacionar o que estudei no meu dia-a-dia. Agora olhar para o céu é bem mais interessante” (P42).

O uso de modelos e a construção da ciência foi o terceiro tema mais citado, adequando-se à categoria 2 – “Melhor compreensão do fazer científico”, com depoimentos como os a seguir:

“[...] algo muito interessante que observei é a fé que existe em trono de teorias, hipóteses, ideias, com ou sem comprovação. Neste aspecto a ciência é quase uma religião, envolvendo muita fé apesar de ser baseada principalmente na razão.” (P58).

“Gostei de saber sobre um pouco mais sobre a história da astrofísica e assim sobre os modelos que levaram ao desenvolvimento de outros e os experimentos. Gostei bastante de estudar os argumentos experimentais para comprovar os modelos, como o “redshift” no Big-Bang. Mas acredito que o mais interessante, foi entender os métodos utilizados para fazer medida e entender o universo e com isso experimentá-los, como o espectrógrafo [espectroscópio], nas aulas de laboratório.” (P68).

“E o mais importante foi, que a ciência não é uma verdade absoluta, ela apenas tenta através de modelos discutir sobre os nossos primórdios ou até o nosso futuro” (P28).

“Mas o que eu mais gostei foi [...] que tudo que aprendemos na ciência está baseado em um modelo, que pode ou não corresponder à realidade”. (P27).

Deve-se observar ainda que o curso foi elogiado por cerca de 60% dos alunos, seja pela temática escolhida ou pela abordagem educacional implementada. Tais resultados permitem o enquadramento destas respostas na categoria 3 – “Aumento do interesse pela ciência”, juntamente com aqueles educandos que explicitamente afirmam gostar de certas partes dos temas tratados, como:

“Considero que dentro de tudo que estudei em física, cosmologia é a matéria mais interessante” (P8).

“No quarto bimestre vimos muito mais conceitos de astronomia do que de física, acho isso legal, pois eu gosto muito de astronomia e acho super interessante vermos como e porque as coisas acontecem no universo” (P66).

A categoria 4 – “Nova visão cosmológica” aparece como o segundo assunto mais citado, lembrado por um terço dos educandos. Assuntos como Big-Bang, expansão do Universo e fim do universo e as dimensões envolvidas na Astronomia, cativaram o imaginário dos jovens, fazendo-os pensar em coisas até então desconhecidas ou não imaginadas:

“Percebi que não tinha noção da imensidão do universo [...] Não imaginava que o Universo estava em expansão” (P20).

“[...] gostei de saber principalmente que podemos saber que o universo está se expandindo pelo deslocamento do espectro de um astro e seu desvio para o vermelho [...]” (P50).

“Achei interessante o estudo sobre o universo principalmente porque é algo que eu não tinha consciência da dimensão, do tamanho (...)” (P23).

“Também é assustador saber o nosso tamanho “insignificante” perante ao Universo!” (P65).

“Pude aprender curiosidades sobre o Universo que sempre quis saber e a pergunta que antes já existia, ‘de onde viemos?’ e ‘para onde vamos?’, ocupa um lugar bem maior agora.” (P42).

Finalmente, um grande conjunto de citações demonstrava que vários alunos faziam conexões entre os conteúdos, percebendo a relação entre experimento e teoria, e as informações advindas dos modelos utilizados e se sentiam fascinados diante dos conhecimentos adquiridos. Para este conjunto de ideias incorporamos uma nova categoria de análise, a de número 5 – “Apropriação do Conhecimento”, que pode ser observada em citações como:

“O que mais gostei de estudar relacionado a este assunto foi a questão do Redshift/Blueshift [...] e o espectro, que nos revela tantas informações sobre um astro” (P20).

“Achei muito interessante [...] entender um pouco mais sobre como os cientistas chegam a conclusões que eu nunca imaginei que seriam possíveis de serem feitas, como descobrir as substâncias que há em outra estrela e sua temperatura. Porém, nada para mim foi tão fascinante como o método do Redshift que demonstra a expansão do Universo.” (P53).

“Outra coisa que eu achei interessante é eu a maioria das pessoas ainda explica a gravidade pelo modelo de Newton, enquanto este modelo já foi substituído pelo da relatividade geral de Einstein” (P38).

“Gostei bastante também da parte dos espectros, de como podemos descobrir do que a atmosfera de uma estrela é feita, só olhando a luz que ela emite.” (P70).

ou ainda,

“Entre os temas e assuntos abordados [...] achei muito notável a de cores e espectros. [...] Só fui entender no que se consiste e como é formado realmente um arco-íris agora. E entender que cores são, e dizem muito mais que apenas pigmentos. Com cores entendemos a temperatura de estrelas (entre outros mais!). Antes pensava que cores eram só cores. Mas agora tenho certeza que cor é uma ciência!” (P22).

Além da correlação entre as respostas dadas pelos alunos à questão final da prova e as categorias de análise obtidas das respostas do questionário, esboçada no Quadro 12, observaram-se outras conexões entre estas respostas e aquelas dadas na parte objetiva da prova. Apresentam-se algumas das articulações inferidas.

5.4 – Articulando outros resultados

Primeiramente, resgata-se que dos alunos que preencheram o questionário 97% responderam afirmativamente à questão 2, dizendo que o “curso de Física do 1º ano modificou sua visão sobre o mundo e sobre o Universo”. Estes dados aparentam estar de acordo com as respostas obtidas tanto no questionário quanto na questão dissertativa final da prova, nos quais grande parte das respostas foram enquadradas nas categorias de análise 1 e 4 (“Mudança na visão de mundo” e “Nova visão cosmológica”). Além disso, podem-se relacionar tais resultados às três questões da parte objetiva da prova com os maiores índices de acertos (questões 7, 9 e 1, respectivamente), como vemos a seguir.

A categoria 4 – “Nova visão cosmológica” aparece em 40% das respostas dos questionários e é o segundo assunto mais comentado na questão dissertativa final da prova (citado em 32% das provas). Entende-se que tais depoimentos podem ser relacionados ao alto índice de acertos das questões 7 e 9 da parte objetiva da prova, que discutiam, respectivamente, as distâncias e escalas envolvidas na Astronomia e a correlação entre o conceito astronômico Redshift (desvio para o vermelho) e a velocidade de afastamento das galáxias.

Igualmente, cerca de um terço das respostas da questão dissertativa final da prova citou os conteúdos “Espectro/ Espectroscopia” e “Distâncias no universo/Cefeidas/Paralaxe”, temas que correspondem a estas duas questões da parte objetiva da prova (questões 7 e 9), indicando, novamente, uma correlação

entre o índice de acerto nestas questões e as referências que os alunos fizeram aos conteúdos enquadradas na categoria 4.

Já a categoria 1 – “Mudança na visão de mundo” está presente em aproximadamente 85% dos questionários e em 11% das respostas à questão dissertativa final da prova. Estes resultados podem ser articulados ao alto índice de acertos dos alunos na questão 1 da parte objetiva da prova (a terceira questão mais acertada), que procurava relacionar a ocorrência de um arco-íris com um espectroscópio, sugerindo que os alunos conseguiram extrapolar o conhecimento obtido sobre espectroscopia para outros fenômenos de seu cotidiano.

Nota-se também outra correspondência entre o índice de acertos dos alunos à questão 8 da parte objetiva da prova, que versava sobre o fazer científico e suas características (através da polêmica sobre o modelo do Big-Bang) e a categoria de análise 2 – “Melhor compreensão do fazer científico”. Esta categoria foi a segunda mais mencionada nas respostas dos questionários (73% deles) e o terceiro tema mais comentado na questão dissertativa final da prova (citado em 29% delas), apontando para uma correspondência entre as respostas dadas pelos alunos no questionário e as respostas dadas nas duas partes (objetiva e dissertativa) da prova bimestral.

Por outro lado, também parece existir uma relação entre os erros cometidos pelos alunos na parte objetiva da prova e a ausência de citações na questão dissertativa final da mesma. Dentre aqueles que foram agrupados na categoria de análise 5 – “Apropriação do Conhecimento”, não foram mencionados conteúdos relacionados

com “ondas eletromagnéticas” ou “velocidade da luz”, os quais estavam no cerne da questão 6 da parte objetiva (que teve o menor índice de acertos desta parte da prova). Esta questão buscava observar a compreensão que os educandos faziam da propagação de ondas eletromagnéticas no vácuo e as implicações impostas pela finitude da velocidade da luz nas comunicações interplanetárias.

A mesma relação pode ser inferida quando se observam os resultados da questão 10 da parte objetiva, que foi a segunda com menor índice de acertos na prova. Tal pergunta almejava que o educando relacionasse a tendência observada num gráfico (Sequencia Principal num Diagrama HR), indicando uma relação de proporcionalidade entre a massa e a luminosidade nas estrelas, com seus conhecimentos sobre física estelar, em especial sobre a fusão nuclear. Nenhum dos conteúdos abordados nesta questão é mencionado dentre os que foram agrupados na categoria 5, reforçando a ideia da existência da correlação entre os erros cometidos e a ausência de citações.

6 – Considerações Finais

Diante das correlações observadas das análises das respostas dos educandos aos diferentes instrumentos, como o questionário de final de curso e a prova bimestral, nos aventuramos a inferir que alguns dos principais objetivos da proposta de Física estão sendo atingidos, destacando-se:

- A) o aparecimento de algumas das competências e habilidades que fazem parte dos núcleos educacional e histórico-epistemológico da proposta;
- B) a apropriação de uma visão “cósmica” ou “planetária” por parte dos educandos, e;
- C) alguns elementos que apontam para a “integralização” almejada pela proposta.

Discutimos, a seguir, cada uma destas observações.

A) O aparecimento de algumas das competências e habilidades

A análise das respostas efetuada no capítulo anterior sugere que algumas das competências e habilidades que fazem parte dos Núcleos Educacional e Histórico-epistemológico da proposta estão sendo contempladas ou ao menos são bastante citadas pelos educandos.

O Núcleo Histórico-epistemológico da proposta foi estruturado de forma a levar os educandos a perceber a Física como um elemento da cultura humana e o conhecimento físico com um processo em permanente construção. Percebe-se, pela análise dos instrumentos de coleta, que alguns dos objetivos deste núcleo foram atingidos.

A correlação entre o índice de acertos dos alunos à questão 8 da parte objetiva da prova (que versava sobre o fazer científico e suas características, através da polêmica sobre o modelo do Big-Bang) e a categoria de análise 2 – “Melhor compreensão do fazer científico” (a segunda mais mencionada nas respostas dos questionários e o terceiro tema mais comentado na questão dissertativa final da prova), sugere que a competência dos PCNEM: *“Reconhecer a Física enquanto construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico”*, está sendo contemplada. Principalmente quando percebem-se, através de suas respostas ao questionário e questão final da prova bimestral, uma mudança de postura por parte de alguns educandos, com relação a dogmas ou “verdades absolutas”.

A citada competência, descrita no Quadro 2, dialoga com as ideias sobre a evolução dos conceitos na Física e o uso de modelos, estruturantes do Núcleo Histórico-epistemológico do curso. E observamos isto em diversas respostas nas quais os educandos afirmam que desconheciam o uso de modelos e teorias pela ciência e o fato desta última trabalhar com representações da realidade, e que isto mudou após terem cursado a disciplina. Estes resultados indicam uma desmistificação da tradicional visão de que o cientista trabalha apenas em um laboratório.

Foi possível inferir, também, dos discursos dos alunos, certo entendimento sobre questões epistemológicas envolvendo as ciências naturais e a atividade do cientista. Outro grupo de competências relacionadas ao Núcleo Educacional da proposta de Física. As afirmações de alguns educandos demonstravam uma alteração em sua

compreensão sobre a atividade científica, revelando um olhar mais crítico sobre esta área do conhecimento.

Respostas deste tipo foram agrupadas dentro da categoria de análise 1 – “Mudança na visão de mundo”, revelando um posicionamento diferenciado dos alunos frente ao conhecimento que adquiriram e diante dos fenômenos de seu cotidiano. Entendemos que as quatro “visões” que apareceram nas respostas e que foram organizadas nesta categoria (a questão do aprendizado, a questão da racionalidade, o olhar carregado de teoria e a mudança na forma de enxergar a realidade) correspondem à uma mesma ideia: a de que o curso provocou nos educandos uma mudança em sua forma de ver e se relacionar com o mundo, incorporando um olhar teórico sobre a Natureza. E várias de suas respostas apontam indícios de que parte deles tem utilizado a Física como ferramenta para entender o seu cotidiano, objetivo expresso no Núcleo Educacional.

As competências e habilidades I, VIII e IX, descritas no Quadro 1, “*Compreender enunciados que envolvam códigos e símbolos físicos*”, “*Compreender a Física presente no mundo vivencial e nos equipamentos e procedimentos tecnológicos*” e “*Construir e investigar situações-problema, identificar a situação física, utilizar modelos físicos, generalizar de uma a outra situação, prever, avaliar, analisar previsões*” aparecem nas citações expressas na categoria de análise 1 – “Mudança na visão de mundo”.

Tal categoria, que está presente na maioria dos questionários e em diversas respostas à questão dissertativa final da prova (cujos resultados foram relacionados

com o alto índice de acertos dos alunos na questão 1 da parte objetiva da prova, que procurava relacionar a ocorrência de um arco-íris com um espectroscópio), sugere que os educandos procuravam explicar a realidade usando o conhecimento adquirido no curso, ou seja, realizavam a transferência do conhecimento aprendido nas aulas para seu cotidiano.

B) A apropriação de uma “visão cósmica” ou “planetária”

Uma das principais intenções da proposta era fornecer aos educandos uma visão “planetária” ou “cósmica”. E o fato de aparecerem menções desta ordem nas respostas dos instrumentos de coleta de dados manifesta a apropriação, por parte dos alunos, de um novo olhar sobre o nosso planeta e seu lugar no universo, contemplando uma das propostas dos PCN+, quando estes afirmam que, no processo educativo, “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, p.70).

Acreditamos que o curso realmente provocou algum tipo de impacto sobre visão de universo da maioria deles: não só a resposta direta à questão que perguntava se o “curso de Física do 1º ano modificou sua visão sobre o mundo e sobre o Universo”, com 97% de menções positivas, como também diversos depoimentos apontam para a promoção deste tipo de mudança de visão. Nesta categoria foram agrupadas respostas que demonstravam que os alunos haviam ganhado uma percepção maior

das escalas de tamanho envolvidas na Astronomia e outras que explicitavam que “seus Universos” não eram mais os mesmos após terem passado pelo curso.

Tal indicativo também aparece quando observamos a relação das categorias de análise dos dois instrumentos dissertativos com os resultados das três questões da parte objetiva da prova com os maiores índices de acertos (as questões 7, 9 e 1, que discutiam, respectivamente, as distâncias e escalas envolvidas na Astronomia, a correlação entre o conceito astronômico Redshift (desvio para o vermelho) e a velocidade de afastamento das galáxias e a relação entre um arco-íris com um espectroscópio). Ou seja, as categorias 1 - “Mudança na visão de mundo” e, principalmente, 4 - “Nova visão cosmológica” estão entre aquelas mais representativas de toda amostra.

C) A questão da “integralização”

Outra intenção do curso de Física era a chamada *integralização*, que buscava um equilíbrio entre um olhar distanciado sobre conhecimento e certo aprofundamento no mesmo, permitindo ao educando entender as conexões teóricas envolvidas.

Entendemos que o aparecimento da categoria de análise 5 – “Apropriação do Conhecimento” é um forte indício de que tal objetivo foi alcançado. Nela foram agrupadas diversas citações demonstrando que os educandos faziam conexões entre os conteúdos, percebiam a relação entre experimento e teoria e entre as informações advindas dos modelos utilizados.

O que nos levou a perceber esta relação, foram a diversas citações feitas na última questão da prova bimestral de conteúdos trabalhados no curso, alguns dos quais vinham acompanhados de comentários indicando o quanto eles se sentiram fascinados diante dos conhecimentos adquiridos. Também a, já citada, categoria 1 – “Mudança na visão de mundo”, que aparece em diversas respostas, indica a transferência do conhecimento aprendido nas aulas para o cotidiano do educandos.

A ocorrência de ambas as categorias nos leva a crer que a proposta alcança alguns *elementos integralizantes*, ao menos dentro dos limites da Física. E, desta forma, dialoga com diversas premissas dos PCNEM que indicam uma necessária mudança curricular na educação científica, pois, de acordo com tal documento, é “[...] preciso discutir qual Física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e uma formação para a cidadania mais adequada.” (BRASIL, 1999, parte III, p. 23).

Há que se destacar também o fato de o curso ter sido elogiado por cerca de 60% dos educandos. Este dado associado às respostas enquadradas na categoria 3 – “Aumento do interesse pela ciência” fornecem um forte indicativo de que um tema tão atual e ao mesmo tempo tão antigo, quanto a Astronomia, não deve ficar de fora de um curso de Física na escola média.

Acreditamos que estes resultados indicam outra mudança, desta vez, no âmbito escolar: uma alteração na forma como o curso de Física é visto pelos alunos do Ensino Médio. Pois, normalmente, os relatos de estudantes deste nível de ensino apontam esta disciplina como “uma vilã”. Exigindo muito formalismo e ensinando pouco sobre o mundo. E, por isso, uma transformação na forma de ver a Física é sempre bem-vinda, ainda mais em um curso que será, provavelmente, o único

contato que a grande maioria dos educandos terá com o conhecimento físico durante toda sua vida.

Entretanto, nem só de acertos vive a proposta: alguns educandos apresentam dificuldades conceituais e de aplicação dos mesmos. Os resultados das provas bimestrais demonstram que alguns tiveram desempenho inferior ao esperado (ver nota 36). Além disso, não se pode deixar de comentar as correlações encontradas entre os erros cometidos pelos educandos nas questões da parte objetiva da prova e a ausência de citações na questão dissertativa final da mesma. As questões da parte objetiva com os menores índices de acertos na prova (questões 6 e 10) indicam que parte do conhecimento discutido no curso (como a relação entre a Sequencia Principal num Diagrama HR, a proporcionalidade entre a massa e a luminosidade nas estrelas e a fusão nuclear) não teve uma apropriação satisfatória por alguns dos educandos.

O conhecimento destas deficiências deve gerar uma reflexão sobre os motivos de tais dificuldades de aprendizado, levando a novas alternativas educacionais que procurem sanar ou minimizar tais carências. Este é um passo importante a ser dado.

Outro elemento importante, diz respeito à replicação desta experiência de ensino em outras escolas: entendemos que a maior contribuição deste trabalho, no âmbito do ensino de Física, diz respeito não só à mudança curricular, mas também à autonomia de trabalho do professor. E foi por isso que se optou por descrever todo o processo de construção da nova proposta de Física da escola-alvo.

Acreditamos que uma mudança efetiva nos currículos escolares passa necessariamente pela formação de seus educadores. E, na prática, a alteração do currículo de Física na escola média e a inserção de elementos de Física Moderna e Contemporânea não dependem apenas de propostas feitas pelos projetos de ensino, teses, dissertações, artigos e trabalhos apresentados em simpósios ou encontros de física, mas estão sujeitos, principalmente, a uma reformulação nos cursos de formação inicial dos professores (licenciaturas em física) e uma política de formação permanente em serviço dos docentes que já atuam nas redes de ensino. E tais políticas podem, e devem, se aproveitar de experiências bem sucedidas de formação já realizadas sobre este tema, como as que foram citadas no segundo capítulo.

Há sinais interessantes de mudança no ar, como a reforma da proposta curricular paulista, que busca inserir novos elementos e atualizar os conteúdos de Física no ensino médio, mas tais alterações que não devem “atropelar” os educadores, nem cercear sua autonomia de trabalho. Pois, assim, corremos o risco de perder parte da maior riqueza de qualquer processo educacional: o diálogo educador-educando.

Também não se pode deixar de lado o fato de que, hoje, o livro didático ou o material apostilado (sistemas de ensino) ditam as propostas de ensino de Física ao professor e uma reformulação deste tipo de material é igualmente necessária. Entendemos que políticas públicas na área de educação como o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), que fiscaliza e organiza a distribuição dos materiais didáticos a serem enviados gratuitamente às redes públicas de ensino, exercem um papel fundamental no direcionamento dos conteúdos exigidos em tais materiais e

assim podem auxiliar na revisão dos conteúdos e na inserção de elementos de FMC no currículo das escolas de educação média.

Finalmente, gostaríamos de dizer que a realização deste trabalho provocou um importante mergulho na proposta de Física que ajudamos a desenvolver e levou a uma apreciação global da mesma, expondo seus pontos fortes e fracos. Tal análise indica, para o educador, que muitas coisas boas foram feitas e que outras precisam mudar; e, para o pesquisador, fornece elementos para uma reflexão sobre a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea na escola média, apontado para suas possibilidades e dificuldades. Dentre as possibilidades de uma continuação deste trabalho, uma que parece ser bastante interessante é a realização de um olhar sobre o “todo” da proposta, ou seja, uma investigação que envolva todos os três anos do ensino médio, procurando verificar os elementos que realmente foram apreendidos pelos educandos que percorreram toda a proposta de Física.

Este trabalho é também a materialização de um sonho: a divulgação de uma proposta que traz elementos novos para o ensino da Física. Que se afasta da “inalterável” estrutura tradicional conteudista e aponta para um novo jeito de apresentar esta ciência aos educandos no ensino médio. Um “novo jeito” que busca incorporar o tradicional e o moderno; o formalismo e a epistemologia; o passado, o presente e o futuro.

Somos, assim, portadores da esperança de contribuir com os demais educadores, especialmente os de Física, na direção de ensinarmos uma Nova Ciência nas

escolas. Uma que faça sentido para quem ensina e também para quem aprende. Que seja prazerosa de ensinar e de aprender. Que forme cidadãos competentes para lidar com os conhecimentos e as tecnologias atuais, produzidos pelo desenvolvimento desta ciência, e também para os novos desafios que virão.

Referências

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

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**, Lei no. 9.394, de 20 de dezembro de 1996.

_____. **Diretrizes Curriculares para o Ensino Médio**, resolução CEB no. 3 de 26 de junho de 1998.

_____. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**, Brasília: MEC/Semtec, 1999.

_____. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **PCN+ Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/Semtec, 2002.

_____. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **Orientações Curriculares para o Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEB, 2006.

BRUNER, Jerome S. **O processo da educação**. 8ª edição. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1987.

CARVALHO, Ana Maria P. **Termodinâmica: um ensino por investigação**. São Paulo: FEUSP, 1999.

ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria da Educação. **Proposta Curricular do Estado de São Paulo: Física**. São Paulo: SEE, 2008.

FREIRE, Paulo. **Professora sim, tia não: cartas a quem ousa ensinar**. 6ª edição. São Paulo: Ed. Olho D'água, 1997.

_____. **Educação como prática da liberdade**. 25ª edição. São Paulo: Ed. Paz e Terra, 2001.

_____. **Pedagogia do Oprimido**. 32ª edição. Rio de Janeiro: Ed. Paz e Terra, 2002.

_____. **Pedagogia da Esperança: um reencontro com a pedagogia do oprimido**. 10ª edição. Rio de Janeiro: Ed. Paz e Terra, 2003.

_____. **Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa**. 37ª edição. São Paulo: Ed. Paz e Terra, 2008.

GRAF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 1: Mecânica** / GRAF. 5a. edição. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1999.

_____. **Física 2: Física Térmica - Óptica** / GRAF. 5ª edição. 1. reimpr. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 2002.

_____. **Física 3: Eletromagnetismo** / GRAF. 3ª edição. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1998.

KAWAMURA, Maria Regina D.; HOSOUME, Yassuko. A Contribuição da Física para um novo ensino médio. **Física na Escola**, v. 4, n. 2, p.22-27, 2003.

KUHN, Thomas S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. Editora Perspectiva, São Paulo, 2001.

LACEY, Hugh. **Valores e Atividade Científica**. Discurso Editorial, São Paulo, 1998.

MENEZES, Luis C. **A Matéria uma aventura do espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento físico**. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2005.

OLIVEIRA, Eraldo R. **Monitoria Discente no Ensino Médio de Física: Promovendo Singularidades**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Instituto de Física e Faculdade de Educação-USP, 2004.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.5(1), p. 23-48, 2000.

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

POPPER, Karl R. **A Lógica da Pesquisa Científica**. Editora Cultrix, São Paulo, 2001.

PSSC - Physical Science Study Committee. **Física – Parte 1**. 6ª edição. São Paulo: Ed. EDART, 1970.

RICARDO, Elio C.; ZYLBERSZTAJN, Arden. O Ensino das Ciências no Nível Médio: Um Estudo sobre as Dificuldades na Implementação dos Parâmetros Curriculares Nacionais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n.3, p.351-370, dez. 2002.

RICARDO, Elio C.; ZYLBERSZTAJN, Arden. Os Parâmetros Curriculares Nacionais na formação inicial dos professores das Ciências da Natureza e Matemática do Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.12(3), pp.339-355, 2007.

RIOS, Miguel Ângelo T. **O Litoral como tema de investigação no Ensino Médio e o desenvolvimento de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais: uma proposta curricular**. Tese de Doutorado. São Paulo: Instituto Oceanográfico - USP, 2004.

ROBILOTTA, Manoel R. **Construção e Realidade no Ensino de Física**. São Paulo: Instituto de Física-USP, 1985.

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.

TERRAZZAN, Eduardo A. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.9, n.3, p.209-214, dez.1992.

ZANETIC, João. Física e Cultura. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.57, n.3, p.21-24, jul-set. 2005.

_____. Física e Arte: uma ponte entre duas culturas. **Pro-Posições**, v. 17, n. 1 (49), p.39-57, jan-abr. 2006.

Apêndices

Apêndice 1 – O Projeto Ecossistemas Costeiros

Desenvolvido originalmente como uma atividade da disciplina de Biologia e objeto de estudo do doutorado de seu autor, Miguel Ângelo Thompson Rios (RIOS, 2004), este projeto com o passar dos anos ganhou, dentro da escola-alvo, o status de carro-chefe do curso de Ciências Naturais no primeiro semestre da 1ª série do ensino médio. Gradualmente, o projeto foi conquistando espaço e um olhar especial dos professores das demais disciplinas, em especial os da área de ciências, principalmente por causa dos conceitos e procedimentos que são desenvolvidos na atividade. Atualmente o Projeto Ecossistemas Costeiros (PEC) é interdisciplinar, envolvendo, além de Biologia, Química, Física, Português, Geografia, Matemática e Educação Física e conta com um espaço permanente na grade curricular da série, como se fosse uma disciplina, com duas aulas semanais (100 minutos), cujo horário é compartilhado pela maioria dos professores envolvidos.

O PEC consiste na elaboração e execução de um pequeno projeto de pesquisa na área de ciências naturais. A atividade é desenvolvida em grupos de aproximadamente cinco alunos. O tema central de todos os projetos é o Ecossistema Costeiro do município de Ubatuba - SP, local onde é desenvolvido um Estudo do Meio com os alunos. Os grupos constroem uma questão norteadora³⁷ dentro do tema proposto, fazem pesquisa bibliográfica sobre ele e desenvolvem um conjunto de atividades buscando responder à questão formulada. No Estudo do Meio, que tem a duração de três dias, um conjunto de dados é coletado pelos

³⁷ Ver nota 2.

grupos para complementar as atividades do projeto. O “produto final” do PEC é um pequeno artigo científico acompanhado de uma Apresentação Oral do grupo.

Todas as etapas do projeto são acompanhadas por um grupo de professores da série: o de português e os da equipe de ciências. Nas “aulas de projeto” é montado um cronograma com todas as etapas do PEC, desde a escolha da questão, passando pela coleta de dados até a elaboração de seu “produto final”. E é principalmente dentro do horário destinado a tais aulas que os grupos constroem seu projeto e o desenvolvem.

Um dos pontos mais interessantes do projeto é o Estudo do Meio, durante o qual os educandos tomam contato não apenas com o local escolhido para seu estudo como tem a oportunidade de assumir a postura de pesquisadores em trabalho de campo. Dentre as atividades desenvolvidas no estudo do meio estão a coleta de dados ambientais em praias (Ph, salinidade e balneabilidade da água; temperatura e umidade relativa do ar, etc.), entrevistas com responsáveis por serviços públicos (prefeitura, coleta de lixo, secretarias municipais, etc.) e com a população e visitas a instalações relacionadas à questão do grupo (SABESP, Estação de Tratamento de Esgoto, Instituto de Pesca, etc.). Ainda durante o trabalho de campo são feitas duas Noites de Observação Astronômica, quando o tempo permite, nas quais os educandos podem tomar contato com instrumentos de observação (lunetas, telescópios e binóculos) e conhecer um céu diferente daquele poluído luminosamente da cidade de São Paulo.

A parte final do trabalho, executada em sua maior parte nas “aulas de projeto”, envolve a tabulação, análise e discussão dos dados coletados; tudo isso deve ser apresentado em um artigo científico, comparando os parâmetros ambientais de duas praias, o que permite ao grupo fazer uma síntese de todo trabalho desenvolvido. Além disso, existe a produção da Apresentação Oral, montada sobre o texto do artigo e apresentada pelos membros do grupo para toda a classe e uma banca de professores.

Apêndice 2 – Atividades realizadas e alguns de seus resultados

AULA 1 – Roteiro da Atividade “O Sistema Solar em escala”

Atividade de Física

1º. Ano do Ensino Médio

O SISTEMA SOLAR EM ESCALA (Adaptado de João Batista Garcia Canalle - Instituto de Física/UERJ)

Introdução

O Sistema Solar aparece em vários livros didáticos, através de figuras esquemáticas, onde é mostrado fora de uma escala definida, dificultando assim, sua compreensão.

Esta forma de apresentação do Sistema Solar pode causar uma série de confusões com relação ao tamanho dos Planetas. O mesmo ocorre com relação às distâncias ao Sol.

Objetivo

Mostrar as dimensões do Sistema Solar, representando os Planetas e o Sol por círculos em escala reduzida e as distâncias médias dos Planetas em relação ao Sol.

Nesta atividade investigaremos os tamanhos e as distâncias envolvidas quando falamos do Sistema Solar e do Universo.

Material do Grupo

folha de cartolina, barbante, trena, tesoura

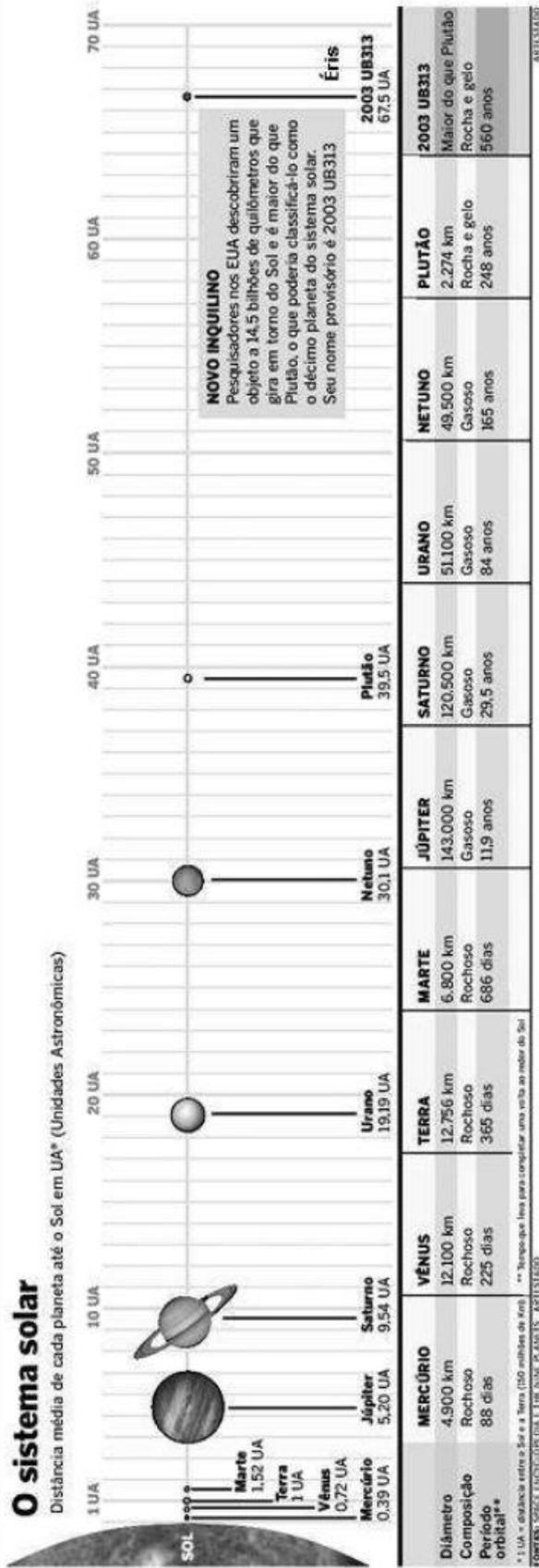
Procedimento

1. Criar uma “miniatura” dos planetas do Sistema Solar, levando em conta os tamanhos dos astros. Adotar uma escala onde o Sol será representado por um círculo. O diâmetro do Sol corresponderá a um comprimento da ordem de 1.392.000 km e por simples “regra de três” os diâmetros dos planetas e da Lua poderão ser calculados, usando a Tabela 1. Preencha o diâmetro do Sol e dos Planetas (em milímetros) e construa suas miniaturas usando a cartolina.
2. Criar outra “miniatura” do Sistema Solar, levando em conta, desta vez, as distâncias entre os planetas. Escolha outra escala para representar o Sistema Solar; use “regra de três” para calcular as distâncias dos planetas ao Sol e da Lua à Terra. Preencha, na Tabela 1, as distâncias calculadas (em metros) e construa uma miniatura do Sistema Solar usando o barbante. Para a Lua a distância dada é em relação à Terra.

OBS: Repare que as escalas usadas NÃO são as mesmas. Isso é feito para facilitar, pois se usássemos a mesma escala do item 1 para as distâncias, ficaria impossível de se montar o Sistema Solar dentro da escola (ver questão Q1).

TABELA 1 – Alguns dados sobre o Sol e os planetas do Sistema Solar

Astro	Massa (kg)	Diâmetro		Distância média do Sol	
		(km)	(mm)	(UA)	(m)
Sol	$1,99 \times 10^{30}$	1.392.000		--	--
Mercúrio	$0,33 \times 10^{24}$	4.860		0,4	
Vênus	$4,87 \times 10^{24}$	12.100		0,7	
Terra	$5,97 \times 10^{24}$	12.760		1,0	
Marte	$0,64 \times 10^{24}$	6.800		1,5	
Ceres (Planeta Anão)	$0,87 \times 10^{21}$	952		2,8	
Júpiter	1899×10^{24}	143.000		5,2	
Saturno	568×10^{24}	120.000		9,5	
Urano	$87,2 \times 10^{24}$	50.800		19,1	
Netuno	102×10^{24}	49.400		30,0	
Plutão (Planeta Anão)	$0,02 \times 10^{24}$	2.740		39,3	
Éris (Planeta Anão)	?	3.094		67,5	



Questões para pensar e entregar (As respostas contam como um RELATÓRIO DO GRUPO e devem ser entregues até 27/ago/2008):

Q1 - Usando a escala do item 1 para o cálculo das distâncias do Sistema Solar, qual seria a distância de Plutão ao Sol na miniatura? E de "2003 UB313"?

Q2 - Se a massa do Sol fosse 2 toneladas, quanto pesaria cada planeta? E qual seria a massa total do sistema solar, somando-se todos os planetas? (Dica: arredonde a massa dos planetas para facilitar as contas. Por exemplo: o Sol teria 2×10^{30} kg)

Q3 - Quanto representa, em porcentagem, a massa somada de todos os planetas para o sistema Solar? E quanto representa a massa do Sol? (Considere que só existem, no sistema solar, o Sol e os oito primeiros planetas. O que é uma boa aproximação)

AULA 1 - Alguns resultados da Atividade “O Sistema Solar em Escala”



Figura 3 - Exemplo de resultado da atividade feita pelos alunos a partir da proposta de trabalho sobre os tamanhos em escala dos principais astros do Sistema Solar.



Figura 4 - Exemplo de resultado da atividade feita pelos alunos a partir da proposta de trabalho sobre as distâncias em escala dos planetas do Sistema Solar.

AULA 8 – Roteiro da Atividade “Máquina Fotográfica”

Aulas Experimentais de Física
1º. Ano do Ensino Médio – Prof. Ricardo

2008

Experimento – Fotografando com uma Câmara Escura (*pinhole*)

Introdução

Atualmente, as máquinas fotográficas digitais têm dominado o mercado de imagens, mas seu princípio de funcionamento é o mesmo das antigas câmaras escuras do advento da fotografia. O que mudou foi apenas o modo como estas máquinas registram a imagem. O olho humano também funciona como uma câmara escura de orifício, no fundo da qual estão as células fotorreceptoras, que captam imagens e as enviam ao cérebro.

Objetivo

Investigar uma câmara escura de orifício e usá-la para fotografar

Entender o funcionamento de uma câmara escura é o primeiro passo para entender como funcionam as máquinas fotográficas e o olho humano.

Uma câmara escura nada mais é do que uma caixa fechada (em nosso caso, uma lata) com um orifício em uma das suas superfícies. A luz que entra por este orifício incide na parede interna da superfície oposta, formando uma imagem.

Nesta atividade investigaremos as principais características de uma câmara escura e utilizaremos uma feita de lata como uma máquina fotográfica artesanal.

Material do Grupo

Câmara escura feita de papel cartão

Câmara escura feita de lata

Vela

Material Coletivo

Papel fotográfico

Materiais para revelação

Procedimento 1 – Observar câmaras escuras de orifício

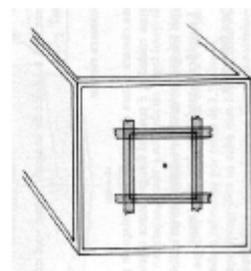
Observe uma câmara escura feita de papel cartão.

Verifique suas características de construção: o lado com o pequeno orifício feito com um alfinete e a face oposta à do orifício por um papel semitransparente (vegetal).

Observar a imagem formada, na face semitransparente, apontando o orifício para a luz da chama de uma vela.

Aproxime e afaste a chama da vela da câmara. Anote essas distâncias e relacione-as ao tamanho da imagem na face semitransparente.

Troque sua câmara com a de outro grupo e repita os procedimentos 3 e 4.



Q1 – O que acontece com a imagem formada? Relacione o tamanho da imagem com relação à distância do objeto à câmara. Como é esta imagem? Descreva-a.

Procedimento 2 – Para fotografar

Usando a câmara escura feita de lata, verifique se o orifício da lata está tampado pela fita isolante e se não há luz penetrando por outros locais (se houver vede-os). Dentro do laboratório de revelação, fixe o papel fotográfico na parte interna da lata, em oposição ao orifício feito para entrada da luz. Mantendo a câmara em posição adequada e imóvel, retire a cobertura do orifício (fita isolante) e exponha-o à luz durante cerca de 30 segundos. Reponha a fita isolante sobre o orifício.

Procedimento 3 – Para revelar fotos (obtenção do negativo)

A duração do processo de revelação é de aproximadamente 15 minutos. Dentro do laboratório de revelação, retire o papel fotográfico da câmara e mergulhe-o na cuba com REVELADOR, mantendo-o submerso por cerca de 1,5 minutos. Mergulhe o papel fotográfico na cuba com ÁCIDO ACÉTICO durante 1 minuto, para interromper o processo de revelação. Mergulhe o papel fotográfico na cuba com FIXADOR e mantenha-o submerso por 5 minutos. Lave o negativo em água corrente por alguns minutos e deixe-o secar.

Q2 – Quais as diferenças e semelhanças do processo de obtenção de imagem feito nesta atividade, com a câmara escura, e a imagem obtida por uma câmara digital ou um celular?

AULA 8 - Alguns resultados da Atividade “Foto na Lata”

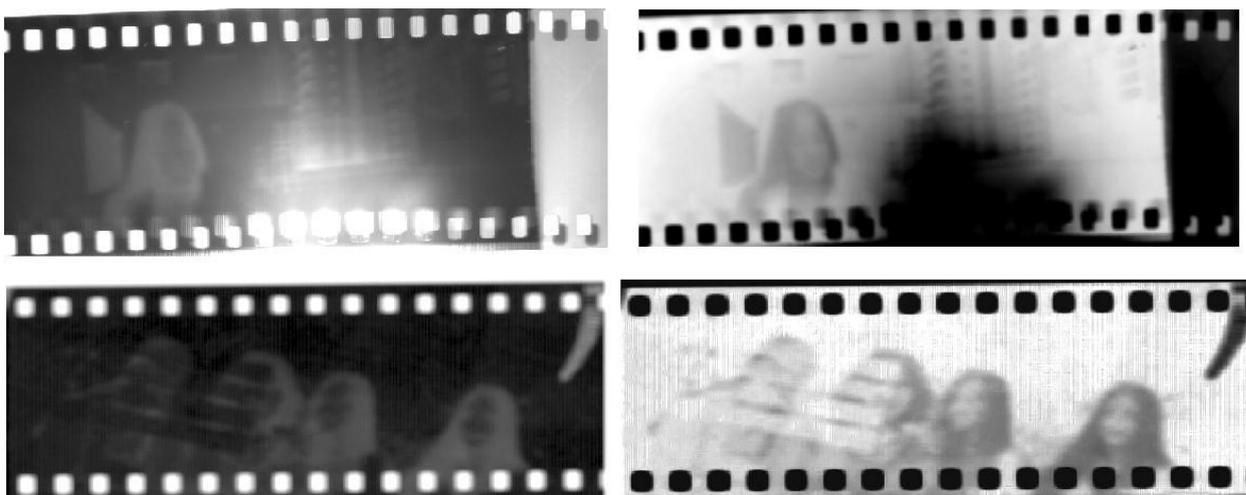


Figura 5 - Exemplo fotos tiradas e reveladas pelos alunos. São duas imagens, com seus negativos, à esquerda e positivos, à direita.

AULA 12 – Roteiro da Atividade “Exercícios em sala – Modelo de Bohr”

Física - Exercícios - Modelo Atômico de Bohr

1. De acordo com o modelo atômico de Bohr, o átomo pode absorver ou emitir fótons, que são pacotes quantizados de energia. Um átomo de hidrogênio sofre uma transição passando de um estado estacionário com $n = 1$, cuja energia é 13,6 eV, para um estado estacionário com $n = 2$, cuja energia é 3,4 eV.

Nessa transição, o átomo de hidrogênio _____ uma quantidade de energia exatamente igual a _____.

Com base em seus conhecimentos, a alternativa que preenche corretamente as lacunas no texto é

- a) absorve; 13,6 eV.
- b) emite; 10,2 eV.
- c) emite; 3,4 eV.
- d) absorve; 3,4 eV.
- e) absorve; 10,2 eV.

2. Nos diodos emissores de luz, conhecidos como LEDs, a emissão de luz ocorre quando elétrons passam de um nível de maior energia para um outro de menor energia.

Dois tipos comuns de LEDs são o que emite luz vermelha e o que emite luz verde.

Sabe-se que a frequência da luz vermelha é menor que a da luz verde.

Sejam $\lambda(\text{verde})$ o comprimento de onda da luz emitida pelo LED verde e $E(\text{verde})$ a diferença de energia entre os níveis desse mesmo LED.

Para o LED vermelho, essas grandezas são, respectivamente, $\lambda(\text{vermelho})$ e $E(\text{vermelho})$.

Considerando-se essas informações, é CORRETO afirmar que

- a) $E(\text{verde}) > E(\text{vermelho})$ e $\lambda(\text{verde}) > \lambda(\text{vermelho})$
- b) $E(\text{verde}) > E(\text{vermelho})$ e $\lambda(\text{verde}) < \lambda(\text{vermelho})$
- c) $E(\text{verde}) < E(\text{vermelho})$ e $\lambda(\text{verde}) > \lambda(\text{vermelho})$
- d) $E(\text{verde}) < E(\text{vermelho})$ e $\lambda(\text{verde}) < \lambda(\text{vermelho})$

3. De acordo com o modelo de Bohr, os níveis de energia do átomo de hidrogênio são dados por $E_n = 13,6/n^2$, em eV. Qual a energia, em eV, de um fóton emitido quando o átomo efetua uma transição entre os estados com $n = 2$ e $n = 1$?

- a) 13,6
- b) 10,2
- c) 5,6
- d) 3,4
- e) 1,6

Este tipo de luz é visível? Por quê?

AULA 17 – Roteiro da Atividade “Refração”

Aulas Experimentais de Física

2008

1º. Ano do Ensino Médio – Prof. Ricardo

Experimento – Refração: A Lei de Snell-Descartes

(Adaptado de: Prof. Elso Drigo Filho e Prof. José Roberto Ruggiero / UNESP - Projeto Pró-Ciência/FAPESP – CAPES)

Introdução

As lentes estão presentes em grande parte dos sistemas ópticos, seja ele um par de óculos, uma máquina fotográfica, uma luneta ou um microscópio. No próprio olho humano, o Cristalino faz o papel de uma lente que converge os raios luminosos para projetar a imagem no fundo da retina. Entender como funciona o desvio da luz numa lente é, portanto, entender o funcionamento da maioria dos sistemas ópticos de nosso cotidiano.

Objetivos

Observar a refração da luz e, através da Lei de Snell-Descartes, determinar o índice de refração da água.

Material

Bancada óptica, lápis ou caneta, régua, transferidor e papel milimetrado (para o gráfico).

Discussão Teórica

(Observação : Uma parte do que é aqui apresentado está presente na páginas 225 a 227 do livro de Física- GREF)

A refração é uma propriedade dos fenômenos ondulatórios que ocorrem devido a variação da velocidade de propagação da onda quando esta passa de um meio para outro. A luz, graças ao seu caráter ondulatório, também sofre refração. Pode-se caracterizar um determinado meio, do ponto de vista óptico, pela variação da velocidade de propagação da luz quando passar por ele. Neste sentido define-se o índice de refração absoluto (n) como sendo a relação entre a velocidade da luz no vácuo (c) e no meio em questão (v):

$$n = c / v$$

No ar a velocidade da luz é praticamente a mesma que no vácuo, o que leva a um índice de refração absoluto de aproximadamente 1. Por outro lado, para água este índice é diferente. Entre dois meios pode-se definir o índice de refração relativo. Considerando os meios 1 e 2, o índice de refração relativo (n_{21}) vale:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/v_2}{c/v_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

O comportamento do raio refratado é descrito pela lei de Snell-Descartes que relaciona os ângulos de incidência (i) e de refração (r), tomados a partir da reta normal a superfície. De acordo com esta lei matemática, o índice de refração relativo entre os dois meios (n_{21}) é:

$$n_{21} = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$$

Esta última relação é válida para luz monocromática. Sendo que a luz policromática (com várias cores; a luz branca é um exemplo), por ter várias frequências distintas, tem um índice de refração diferente para cada cor. Esta propriedade dá origem decomposição da luz em suas componentes; um exemplo é a decomposição da luz branca formando o arco-íris.

Ainda analisando o índice de refração em termos dos ângulos, observa-se que o raio refratado se aproxima da normal quando a luz passa de um meio menos denso para um meio mais denso, isto é, $n_1 < n_2$ (veja figura abaixo). Por sua vez, se $n_2 < n_1$ o raio de luz se afastada da normal.

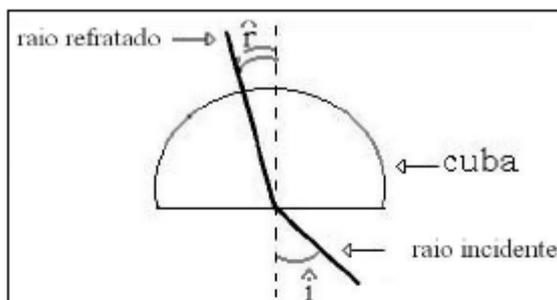


Existe um ângulo incidente limite a partir do qual não há refração. Neste caso a luz sofre reflexão total. É bom notar que para o caso particular da luz incidir perpendicularmente à superfície o ângulo de refração é igual ao ângulo de incidência (90° com a superfície ou 0° com a normal).

Procedimento Experimental

Uma maneira de determinar o índice de refração da água é usando uma cuba de semicírculo cheia de água:

- 1- Colocar a cuba sobre a bancada óptica, de forma que o centro da bancada coincida com o ponto central da parte reta da cuba. Na bancada deve estar fixada a folha de papel do experimento.
- 2- Ligar o feixe de luz (que também deve passar pelo centro da bancada) e observa-se a trajetória do mesmo. Veja a figura ao lado.
- 3- Marcar na folha a posição dos dois raios luminosos (o incidente i e o refratado r).
- 4- Repete-se a marcação para outras **cinco posições diferentes** do feixe luminoso incidente.
- 5- Determina-se o **ângulo limite**, a partir do qual não ocorre mais refração (ocorre apenas reflexão).



Determinando o índice de refração da água

- 6- Traçar as retas dos caminhos dos raios luminosos na folha do experimento (pode-se usar cores diferentes para cada caminho), determinando os raios incidente e refratado.
- 7- Com a ajuda de um transferidor, descobrir os ângulos i e r .
- 8- Com a ajuda de uma calculadora ou do Excel, montar uma tabela de **seno i X seno r** .
- 9- Fazer um gráfico de **seno i X seno r** e traçar a reta média. O coeficiente angular da reta (que corresponde a seno i / seno r) é o índice de refração relativo entre o ar e a água (n_{21}). Como sabemos o índice de refração do ar ($n_1 = 1$), a partir de n_{21} pode-se obter o índice de refração da água (n_2).

Observação : A geometria da cuba é importante uma vez que o raio refratado sairá perpendicular a superfície circular (normal), não sofrendo novo desvio.

AULA 20 – Roteiro da Atividade “Construção de Espectroscópios”

Aulas Experimentais de Física
1º. Ano do Ensino Médio – Prof. Ricardo

2008

Experimento – Espectroscópio

Introdução

O conhecimento humano sobre o Universo vem, em grande parte, da Astronomia. Esta ciência, no último século, se especializou na investigação dos mais diferentes astros através de técnicas de espectroscopia. O espectro de uma estrela é sua “impressão digital” e através dele podemos obter diversas informações sobre tais astros. Entender como funciona um espectro luminoso é, portanto, entender parte do funcionamento do mundo em que vivemos.

Objetivos

Construir um espectroscópio de transmissão da luz e observar qualitativamente os espectros de algumas lâmpadas e da luz solar.

Material

Papel cartão preto (ou cartolina preta)
Lâmina de barbear (tipo Gillete)
Pedaço de CD (rede de difração)

Procedimento 1 - A construção do espectroscópio

O espectroscópio que construiremos é uma luneta modificada: um tubo de papel cartão preto que numa das pontas tem uma fenda e na outra ponta tem uma rede de difração. Uma rede de difração decompõe a luz visível de modo um pouco diferente de um prisma.

Questão 1 - O que é uma rede de difração e por que decompõe a luz visível?

Num espectroscópio o princípio é: a luz deverá passar por uma fenda estreita (feita com as lâminas de barbear) e incidir sobre a rede de difração antes de chegar ao olho do observador.

Questão 2 - Por que o interior do tubo do espectroscópio deve ser preto?

Procedimento 2 - Observação da luz com os espectroscópios

Com o auxílio do espectroscópio deve-se observar:

1. Uma lâmpada incandescente;
2. Três lâmpadas “gasosas”;
3. O Céu - parte azul (se for possível) => VEJA OBSERVAÇÃO ABAIXO

Deve-se fazer um registro das observações. As anotações devem conter obrigatoriamente as seguintes informações:

- Tipo de objeto observado
- Cor predominante do objeto
- Tipo de espectro observado (contínuo/descontínuo)
- Cores presentes no espectro
- Outras informações relevantes.

OBSERVAÇÃO: O SOL NUNCA DEVE SER OBSERVADO DIRETAMENTE!!

Há risco de lesão nos olhos de quem o fizer.

Questão 3 - Ao observar o céu, foi possível ver as “Linhas de Fraunhofer”? Faça um desenho do que foi observado neste caso. Justifique suas observações com base na teoria.

Para o relatório: Não esqueça de responder as três questões apresentadas neste texto.

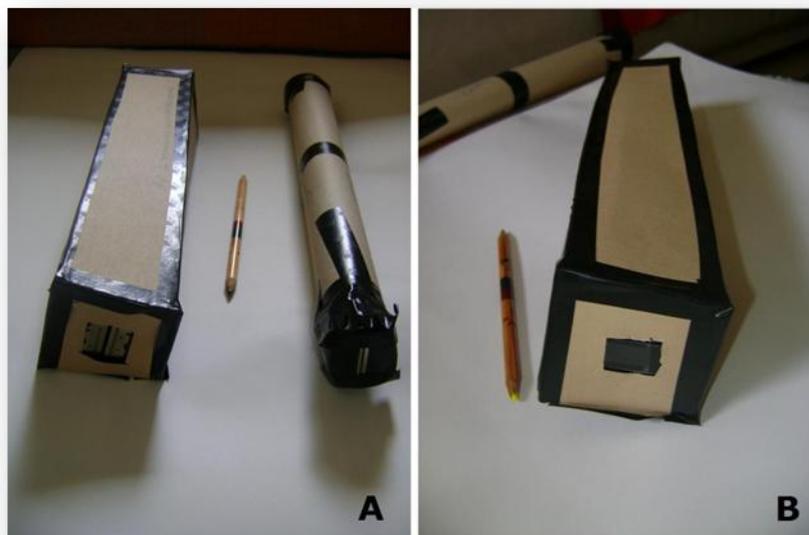
AULA 20 - Alguns resultados da Atividade “Construção de Espectroscópios”

Figura 6 - Exemplo de espectroscópios construídos pelos alunos

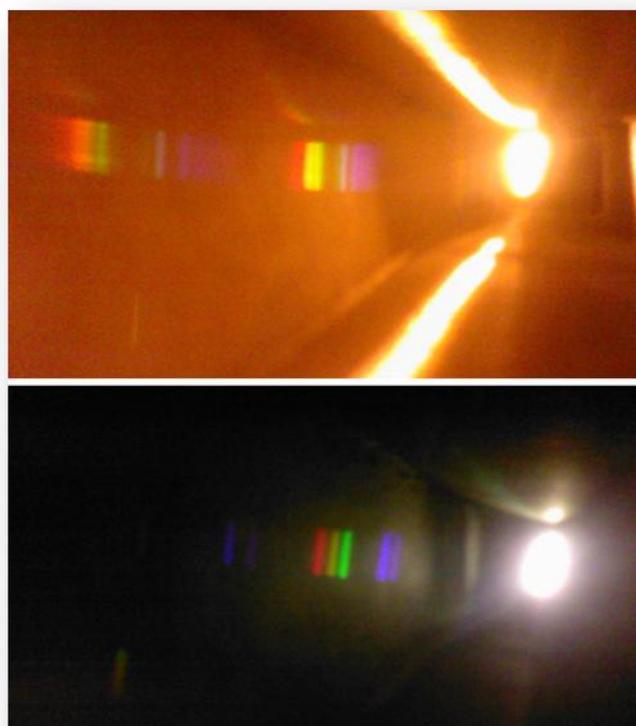


Figura 7 - Imagem de espectros descontínuos de duas lâmpadas gasosas diferentes obtidas a partir do mesmo espectroscópio construído pelos alunos.

AULA 21 – Texto usado na Aula “As Gravidades”

FÍSICA - Ensino Médio
Prof. Ricardo Rechi Aguiar

A(S) GRAVIDADE(S)

Por mais que já tenhamos ouvido falar dela, a **Gravidade** não foi sempre do jeito que a conhecemos. Não que a Terra tenha deixado de “atrair” as coisas próximas a ela (pelo que sabemos, desde a antiguidade, um objeto sempre cai quando solto de uma certa altura), mas o **jeito de entender** a queda dos objetos é que mudou.

Neste texto são apresentados, de forma resumida, três modos diferentes de se entender a gravidade, cada um deles ligado a certa **Visão de Mundo**. A intenção é mostrar brevemente a evolução deste conceito.

A GRAVIDADE ARISTOTÉLICA

No século IV antes de Cristo, viveu na Grécia um grande filósofo, discípulo de Platão, chamado **Aristóteles**. Em sua época, acreditava-se que a Terra era o **centro do Universo (Visão Geocêntrica)** e que o tudo que nele existia era formado por quatro elementos: o ar, a terra, a água e o fogo.

O Sol, a Lua, os planetas e as estrelas estavam presos em “**esferas de cristal**” que giravam ao redor da Terra, transportando consigo estes astros. Isto explicava muito bem o movimento de todos os corpos celestes (havia algumas imperfeições, é claro, mas não chegavam a abalar tal visão de mundo).

Aristóteles desenvolveu um conjunto de idéias muito interessantes sobre o “funcionamento” do Universo, aqui vão algumas delas:

1. O movimento de queda dos corpos pesados, ou graves (feitos dos elementos terra ou água), era natural e dirigido para o centro do Universo, que coincidia com o centro da Terra. Nesta visão de mundo, a Terra seria o “**lugar natural**” dos objetos pesados;
2. Os corpos celestes eram feitos de um elemento diferente dos quatro fundamentais, eram feitos de uma matéria eterna denominada **éter**. Além disso, eles eram dotados de um movimento natural descrevendo uma trajetória circular perfeita;
3. Não pode existir movimento não-natural infinito, portanto não pode existir o vácuo.

A GRAVIDADE NEWTONIANA

O modo como a maioria das pessoas entende a gravidade hoje é baseado nas idéias do inglês **Isaac Newton** (1642-1727). Para ele, todas as partículas do universo, não importando do que são feitas, são dotadas de um “poder de atração”: a atração gravitacional.

Segundo Newton, essa "força de atração" **diminui com a distância**, ou seja, partículas mais próximas se atraem mais fortemente e vice-versa. Mas, essa força **depende**, também, **da massa** (da quantidade de partículas em um objeto, astro ou ser vivo), assim quanto maior o objeto (ou seja, quanto maior sua massa), mais forte é a atração gravitacional que ele provoca.

Na época em que Newton viveu, muitas pessoas **não acreditavam mais** que a Terra fosse o centro do universo. Já fazia mais de 100 anos que Nicolau Copérnico havia proposto que o **Sol era o centro do Universo (Visão Heliocêntrica ou Copernicana)**. E as idéias de Newton se baseavam parcialmente na visão heliocêntrica e em outras afirmações "mais modernas".

A proposta newtoniana era ousada, tanto que ele a chamou de "**gravitação universal**": ele acreditava que a gravidade seria a força responsável pelo movimento de todos os corpos celestes do universo.

A GRAVIDADE EINSTEINIANA

Em 1915, **Albert Einstein**, o físico mais famoso do século passado, apresentou em sua **Teoria Geral da Relatividade** uma proposta diferente para a queda dos objetos.

Einstein propôs que os objetos de grandes massas (como a Terra ou o Sol) provocam **deformações no espaço** (faço aqui uma simplificação para facilitar a compreensão, as deformações, de fato, ocorrem no espaço-tempo). Um exemplo bidimensional desse efeito pode ser obtido se colocarmos uma bola de basquete sobre um lençol esticado: a bola causa uma deformação no lençol, na região próxima a ela.

Assim, os objetos próximos a grandes massas não são "atraídos" por uma "força invisível", eles simplesmente se deslocam em um "**espaço curvo**". O modelo einsteiniano explica desta forma o fato da Lua girar ao redor da Terra: nosso planeta provoca uma curvatura no espaço e a Lua, ao se mover por esse espaço, segue uma trajetória quase circular, seguindo a deformação.

A proposta de Einstein, apesar de ser a mais moderna e ter sido verificada experimentalmente pela primeira vez em 1919 (durante um eclipse em Sobral-CE), ainda não faz parte da "visão de mundo" da maioria das pessoas. Mas, não há nenhum modelo de universo feito por físicos ou astrônomos, atualmente, que não leve em conta tal proposta.

Para ajudar no diálogo com o texto

1. Explique por que uma caneta cai no chão, quando solta de uma certa altura, usando as idéias:
 - a) de Aristóteles;
 - b) de Newton;
 - c) de Einstein.
2. É possível estabelecer alguma relação entre o "lugar natural" aristotélico, a "gravitação universal" newtoniana e o "espaço curvo" einsteiniano? Se sim, qual?
3. Qual das três propostas você acha mais interessante (ou mais real)? Por quê?

Apêndice 3 – Avaliação Individual do 4º Bimestre

AVALIAÇÃO BIMESTRAL DE FÍSICA

Nome: _____ No. _____ 1º. _____

4º. bimestre/2008
1º. ano - Ensino Médio

- É proibido o uso de calculadora (inclusive do celular).
- Confira se sua prova possui **dezesseis** questões (10 questões alternativas e 6 questões dissertativas).
- Esta prova vale **10 pontos**. São quatro pontos nas questões alternativas (0,4 pontos cada questão) e outros seis nas questões dissertativas (1,0 ponto cada questão).

Use, quando for necessário:

1 UA = $1,5 \cdot 10^{11}$ m **Velocidade da Luz no vácuo = $3,0 \cdot 10^8$ m/s**

$v = \lambda \cdot f$, onde v = velocidade, λ = comprimento de onda e f = freqüência.

$f = 1/T$, onde f = freqüência e T = período.

BOA PROVA!

GABARITO DAS QUESTÕES ALTERNATIVAS

Marque com um **X** apenas a **alternativa correta** de cada questão

QUESTÃO	ALTERNATIVA CORRETA				
1	a	b	c	d	e
2	a	b	c	d	e
3	a	b	c	d	e
4	a	b	c	d	e
5	a	b	c	d	e
6	a	b	c	d	e
7	a	b	c	d	e
8	a	b	c	d	e
9	a	b	c	d	e
10	a	b	c	d	e

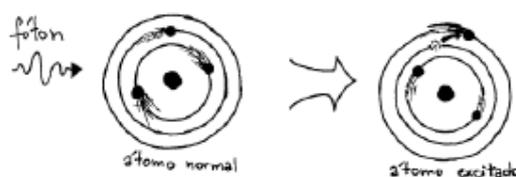
Questão 1 - Um arco-íris sempre aparece no céu logo antes ou depois de chover. Isso ocorre porque as gotas de água presentes no ar, quando comparadas com as partes de um espectroscópio, funcionam como se fossem

- o visor.
- a fenda.
- o prisma.
- a fonte de luz.
- os raios luminosos.

Questão 2 - Na pesca com lança, os índios sabem que, jogando a lança na direção do rabo de um peixe em repouso, podem acertar a cabeça. Por trás desse conhecimento empírico, está o conceito físico de

- refração.
- reflexão.
- difração.
- interferência.
- polarização.

Questão 3 - A figura abaixo representa a absorção de luz pela matéria. O fóton interage com o elétron de um átomo, fazendo com que o mesmo mude de camada eletrônica.



Tal fenômeno, no estudo dos astros, é responsável pelo aparecimento

- do Paradoxo de Olbers, no céu escuro.
- do Espectro Contínuo, no estudo do Sol.
- da Radiação Prismática de Fundo das estrelas.
- das Linhas de Fraunhofer, no espectro solar.
- do desvio para o vermelho (redshift) dos planetas.

USE O TEXTO A SEGUIR PARA RESPONDER AS QUESTÕES 4 E 5

As estrelas se formam a partir da fragmentação, seguida da condensação, de nuvens de gás (principalmente Hidrogênio) e poeira muito pouco densas presentes nas galáxias. E isto acontece exatamente porque esta matéria, mesmo muito difusa, se atrai segundo a Lei da Gravitação Universal. À medida que a assim chamada nuvem proto-estelar

(pois ainda não é uma estrela) se contrai, sob a influência de sua própria gravitação, a sua temperatura aumenta devido à energia liberada pela contração. É como se a nuvem caindo sobre ela mesma liberasse a energia da queda. Neste estágio a proto-estrela emite radiação no infra-vermelho. Quando a temperatura central da nuvem atinge cerca de dez milhões de graus se inicia um outro processo de geração de energia que é suficiente para suprir as necessidades da estrela. A contração cessa, pois agora existe uma fonte de energia térmica que se contrapõe ao colapso gravitacional, e a estrela atinge uma situação de equilíbrio.

Questão 4 - Acredita-se que os núcleos das estrelas como o Sol produzem energia a partir de

- combustão térmica.
- fusão nuclear.
- radiação térmica.
- condução nuclear.
- reação magnética.

Questão 5 - Enquanto uma estrela em formação está no estágio de proto-estrela ela é invisível ao olho humano, pois emite luz com

- freqüência maior que a da luz azul.
- uma carga magnética extremamente alta.
- comprimento de onda maior que a da luz vermelha.
- pequena intensidade, que não chega até o fundo do olho.
- baixa quantidade de fótons da freqüência da cor branca.

USE O TEXTO ABAIXO PARA RESPONDER AS QUESTÕES 6 E 7

Proxima Centauri é a estrela mais próxima do Sol (ela é visível na constelação do Centauro, perto do Cruzeiro do Sul) e está a uma distância de 4,3 AL (Anos-Luz). Sua localização no céu do hemisfério Sul é fácil de se obter: ela está perto de *Alfa Centauri*, que é a estrela mais brilhante no céu próxima ao Cruzeiro do Sul.

Questão 6 - Nossa resposta a uma hipotética mensagem enviada por uma civilização "centauriana" que vivesse em um planeta orbitando tal estrela levaria mais de quatro anos para chegar até lá. As comunicações de "longa distância" no Universo são extremamente complicadas porque

- a) não se descobriu um rádio para ondas universais.
- b) as informações andam na velocidade da luz, que é finita.
- c) o espaço entre duas estrelas é formado por vácuo.
- d) o som sofre muitas interferência em tais distâncias.
- e) a tecnologia da “banda larga” serve apenas para comunicações na superfície da Terra.

Questão 7 - Por causa da sua proximidade (em termos de Universo, é claro!), para se medir a distância do Sol a *Proxima Centauri* é correto usar o método

- a) da Radiação Cósmica de Fundo.
- b) da Relatividade Geral.
- c) das Supernovas.
- d) das Cefeidas.
- e) da Paralaxe.

Questão 8 - (Adaptado de UFRN) Um grupo de cosmólogos publicou na revista britânica "New Scientist", em 2004, uma carta aberta à população na qual critica a postura dos defensores do modelo cosmológico da grande explosão, chamado Big-Bang. Aqueles cientistas argumentam que atualmente, na cosmologia, não se tolera a dúvida e a discordância. Eles também criticam que essa postura totalitária faz com que as observações astrofísicas sejam interpretadas de modo enviesado. Assim, quando surgem dados observacionais discordantes daquele modelo, em vez de colocarem em cheque, eles são ignorados ou ridicularizados pelos defensores do referido modelo.

Com base nessas informações, conclui-se que esse grupo de cosmólogos está chamando a atenção para o fato de que

- a) a ciência lida com a realidade última, por isso os modelos não podem estar errados e correspondem a essa realidade.
- b) a ciência lida com modelos, os quais podem estar errados na interpretação da realidade, mesmo quando são aceitos por muitos cientistas.
- c) a pesquisa científica não comete erros ao interpretar a realidade, mesmo quando os cientistas estão em desacordo entre si sobre qual modelo é verdadeiro.
- d) a pesquisa científica é feita por cientistas imparciais e objetivos, os quais querem encontrar

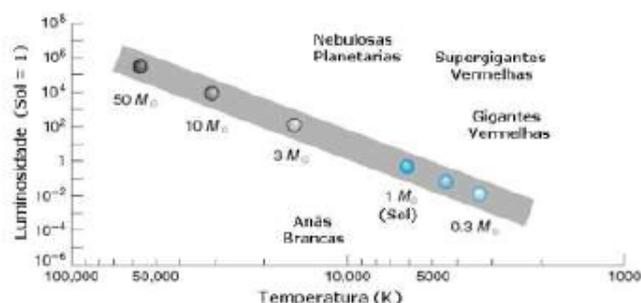
testes observacionais para mostrar que os modelos estão errados.

- e) a ciência lida com modelos baseados somente em dados observacionais e estes dados são sempre inequívocos.

Questão 9 - O *Redshift* (desvio para o vermelho), deslocamento do espectro de um astro por efeito Doppler, é um dos principais argumentos da teoria de que o universo está em expansão. O *Redshift* de uma galáxia indica

- a) seu brilho.
- b) seu tamanho.
- c) sua velocidade de afastamento.
- d) sua temperatura superficial.
- e) sua emissão de energia luminosa.

Questão 10 - O gráfico a seguir representa o chamado **Diagrama H-R**, que relaciona a luminosidade de uma estrela com sua temperatura. A faixa cinza corresponde à **Seqüência Principal**, onde se encontra a maioria das estrelas de nossa galáxia (as quais têm como característica comum o fato de estarem na fase de “queima” de Hidrogênio). Os círculos correspondem à posição do Sol e de algumas outras estrelas no diagrama e o símbolo M_{\odot} indica o número de vezes que a massa da estrela é maior ou

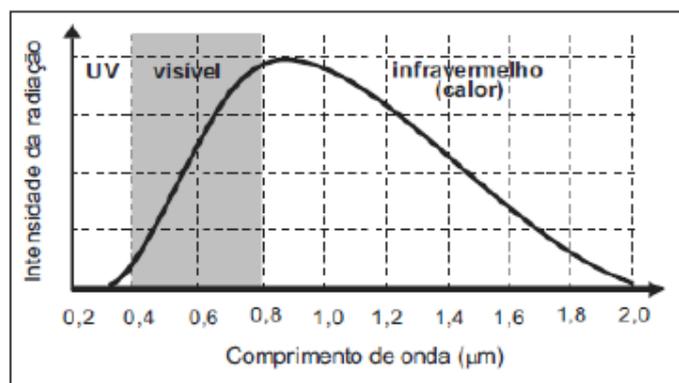


menor que a Massa do Sol.

O Diagrama H-R sugere, nas estrelas da **Seqüência Principal**, a existência de uma **relação de proporcionalidade entre a massas das estrelas e suas luminosidades**. Seria correto supor que essa relação existe porque

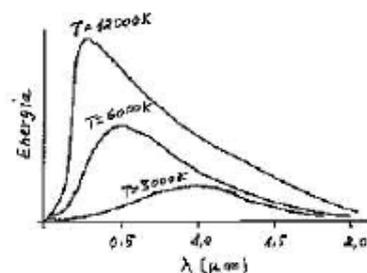
- quanto maior a massa, maior o tamanho da estrela e, portanto, maior o número de planetas ao seu redor que podem produzir energia luminosa.
- quanto menor a massa, maior o comprimento de onda gerado pela estrela e, portanto, maior é a queima de Hidrogênio no núcleo estelar.
- quanto menor a massa, menor a luminosidade gerada pela estrela, pois, maior é a queima de Hidrogênio no núcleo estelar.
- quanto maior a massa, maior a luminosidade gerada pela estrela, pois é menor a temperatura da superfície estelar.
- quanto maior a massa, maior a gravidade da estrela e, portanto, maior o número de reações nucleares que produzem energia luminosa.

Questão 11 - A passagem de uma quantidade adequada de corrente elétrica pelo filamento de uma lâmpada deixa-o incandescente, produzindo luz. O gráfico mostra como a intensidade da luz emitida pela lâmpada está distribuída no espectro eletromagnético, estendendo-se desde a região do ultravioleta (UV) até a região do infravermelho.



- A eficiência luminosa de uma lâmpada pode ser definida como a razão entre a quantidade de energia emitida na forma de luz visível e a quantidade total de energia gasta para o seu funcionamento. Admitindo-se que essas duas quantidades possam ser estimadas, respectivamente, pela área abaixo da parte da curva correspondente à faixa de luz visível e pela área abaixo de toda a curva, qual a eficiência luminosa dessa lâmpada? Justifique sua resposta.

- O gráfico ao lado apresenta o espectro de três estrelas diferentes, relacionando a quantidade de energia com comprimento de onda da radiação eletromagnética que cada uma emite. A cor de uma estrela e a temperatura de sua superfície estão ligadas ao pico do espectro desta estrela. Sabe-se, também, que o espectro da luz visível tem os seguintes comprimentos de onda (λ): 0,4 μm (luz violeta), 0,45 μm (luz azul), 0,5 μm (luz verde), 0,55 μm (luz amarela), 0,6 μm (luz laranja) e 0,7 μm (luz vermelha).



Supondo que o gráfico anterior (da lâmpada incandescente) fosse o de uma estrela, qual a temperatura aproximada da superfície dessa estrela fictícia? Descreva como chegou a esse resultado

Questão 12 - Em 1958, o físico George Gamow fez a seguinte afirmação durante uma reunião científica: “É tão certo que o Universo começou com um Big-Bang quanto é certo que a Terra gira em torno do Sol”. Tal afirmação, tão categórica, mostra a confiança de certos cientistas sobre a Teoria do Big-Bang. Em que fatos esta confiança está baseada?

Questão 13 – O chamado *Redshift* (desvio para o vermelho), deslocamento do espectro de um astro por efeito Doppler, é um dos principais argumentos da teoria de que o universo está em expansão. Uma ferramenta para os astrônomos determinarem a composição e condições de um corpo celeste é a espectroscopia que consiste em analisar a radiação eletromagnética emitida ou refletida pelo objeto e decompô-la em um prisma. A decomposição da luz solar não apresenta um espectro contínuo perfeito, mas algumas falhas, chamadas “linhas de *Fraunhofer*”.

a) Como se explica o aparecimento das linhas de *Fraunhofer* no espectro solar, usando o modelo atômico de Bohr?

b) Que tipo de informação pode ser obtida sobre o Sol ou outras estrelas, por exemplo, ao se observar seu espectro e tais falhas?

USE O TEXTO A SEGUIR PARA RESPONDER AS QUESTÕES 14 E 15.

Confronto de gigantes

Salvador Nogueira - FolhaOnline – Pensata - 08/09/2005

Imagine por um momento que você esteja num trem, viajando à fabulosa velocidade de 250 mil quilômetros por hora –mil vezes mais rápido que um carro de Fórmula 1. Ao arriscar uma olhada pela janela, emerge o pânico: no sentido oposto, você vê outro trem, igualmente célere, vindo em sua direção. A colisão é inevitável. Agora a má notícia. É tudo verdade.

Reclamações devem ser encaminhadas à Via Láctea Transportes Cósmicos.

Bem, se a idéia era inaugurar esta coluna com um estouro, então aí está. Nada como uma colisão de galáxias para esquentar o dia.

Já não é de hoje que sabemos que a Via Láctea, grande conjunto de gás e poeira que serve de residência para uns 200 bilhões de sóis, dentre os quais o nosso, está num curso de colisão com sua vizinha mais pujante, a galáxia de Andrômeda. Aliás, um aviso para já acalmar os mercados: o "encontro" não vai acontecer em menos de 3 bilhões de anos.

A melhor definição para essa colisão talvez seja "briga de família". Neste canto do Universo, Andrômeda e Via Láctea são as maiores galáxias (provavelmente nessa ordem) do pedaço, seguidas pela galáxia do Triângulo. Além dessas três, que têm o tradicional formato espiral, o chamado Grupo Local ainda possui uma porção de outras pequenas galáxias, a maioria de formato irregular, como a Grande Nuvem de Magalhães.

Todas estão zanzando pelo espaço sideral num balé próprio, regido pela atração gravitacional que exercem umas sobre as outras. Medindo a luz que vem delas, os astrônomos podem dizer se estão indo ou vindo. Daí o conhecimento de que Andrômeda, hoje a 2,9 milhões de anos-luz de distância (um ano-luz é a distância que a luz percorre em um ano, aproximadamente 9,5 trilhões de quilômetros), se aproxima de nós a uma velocidade aparente de cerca de 500 mil quilômetros por hora.

Mas por que resolvi falar de tudo isso? Como se não bastasse o simples fato de ser muito legal, acontece que uma nova observação astronômica acaba de dar um sabor mais realista ao futuro que aguarda nossa galáxia.

Uma imagem recém-divulgada por uma equipe do Observatório Gemini Norte, localizado em Mauna Kea, no Havai, mostra em detalhes um objeto conhecido pelo código NGC 520. Localizado a uns 100 milhões de anos-luz daqui, esse astro na constelação de Peixes é o resultado de uma colisão de duas galáxias, que antes do encontro fatal possivelmente eram muito similares à Via Láctea e a Andrômeda.

É uma boa oportunidade para estudar o que acontece num caso desses. A primeira coisa que chama a atenção na imagem, obtida entre os dias 13 e 14 de julho, é que não se trata de um evento gentil. As duas galáxias perdem totalmente sua elegantes espirais e se mesclam num esquisito bolo de gás e poeira. Com o tempo, seus núcleos tendem a se fundir num só.

Aliás, Andrômeda parece já ter aprontado das suas no passado. No início dos anos 1990, o Telescópio Espacial Hubble revelou que ela parece possuir dois núcleos, separados por uns poucos anos-luz de distância --sinal de que ela já deve ter canibalizado alguma outra galáxia de porte razoável antes que pudéssemos ver. Quanto à "degustação" de galáxias-anãs, é um fenômeno bem comum, tanto para Andrômeda quanto para a Via Láctea: ambas já foram flagradas no meio de um almoço.

A nova imagem também permite estudar os resultados práticos para a vida interna das galáxias em colisão. É possível ver, por exemplo, em tons vermelhos, regiões em que a compressão de gases iniciou um processo intenso de formação de novas estrelas.

Se o choque com Andrômeda parece um cenário por demais melancólico para nossa pobre galáxia, tente respirar um pouco mais aliviado: embora sejam grandes eventos vistos de fora, de dentro talvez nem tenha tanta graça. Simulações de computador mostrando o que aconteceria dentro das duas galáxias durante a reunião parecem indicar que colisões entre estrelas são raríssimas, e que em geral esses astros sobrevivem bem ao processo.

O Sol provavelmente ainda estará por aqui quando acabar a reforma do bairro.

Questão 14 - Apresente dois conceitos de física ou astronomia que esteja presente no texto, explicando o que significa este conceito e usando, obrigatoriamente, trechos dos textos sublinhados para ilustrar sua resposta.

Conceito 1: _____

Explicação:

Conceito 2: _____

Explicação:

Apêndice 4 – Questionário de Avaliação do Curso

Para aqueles(as) que não sabem, parte do meu Mestrado é a análise do curso de Física do 1º ano do Ensino Médio da escola. Gostaria de pedir sua colaboração em minha pesquisa, ajudando-me nesta análise com suas impressões sobre o nosso curso.

Para isto basta responder as seis questões a seguir com a maior sinceridade possível. Não é necessário que você se identifique.

Obrigado.

Fazendo uma avaliação do curso de Física do 1º ano

1. Como você vê “o fazer científico”, ou seja, a atividade dos cientistas, hoje? Você o via de uma forma diferente antes de nosso curso? Em caso afirmativo, descreva o que mudou?
2. O curso de Física do 1º ano modificou sua visão sobre o mundo e sobre o Universo?
 - Caso tenha respondido a questão anterior (2) afirmativamente, o que mudou? Descreva com exemplos.
 - Caso tenha respondido a questão anterior (2) negativamente, o que você já sabia? Descreva com exemplos.
3. Se alguém lhe perguntar hoje “Do que as coisas são feitas?” o que você responderia?
4. É possível ensinar ciências (Física) sem usar modelos? Justifique sua resposta.
5. Qual ou quais as contribuições do curso de Física do 1º ano para seu entendimento das Ciências Naturais e em especial da Física?
6. Qual ou quais as contribuições do curso de Física do 1º ano para sua vida? Ele serviu para algo?

Apêndice 5 – Listas de Exercícios - Monitorias

Como parte curso de Física da 1ª série do EM, existem ainda alguns projetos que, caminhando paralelamente ao curso, suprem algumas necessidades educacionais específicas e ampliam a gama de discussões feitas na escola-alvo. Um destes projetos é a “Monitoria Discente”.

O projeto Monitoria Discente se baseia na dissertação de mestrado de Eraldo Rizzo de Oliveira³⁸, e consiste em formar uma equipe de alunos-monitores que auxiliam no trabalho pedagógico da série, cumprindo um horário de plantão de dúvidas no contraturno do horário escolar e auxiliando os alunos a resolver as Listas de Exercícios propostas pelo professor, chamadas “listas da monitoria”.

A seguir apresentamos as Listas de Exercícios propostas aos alunos no segundo semestre de 2008. Em sua maioria, os exercícios destas listas foram retirados de edições anteriores das provas da OBA (Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica).

³⁸ Para maiores informações consulte: Oliveira, Eraldo R. *Monitoria Discente no Ensino Médio de Física: Promovendo Singularidades*, IFUSP-FEUSP, 2004.

Data da Entrega: 12/setembro/2008
Esta atividade deve ser entregue, em papel monobloco, a um(a) dos(as) monitores(as).

MODELO ATÔMICO DE BOHR

**Calcular a ENERGIA dos FÓTONS emitidos ou absorvidos em todas as transições possíveis, num átomo de hidrogênio, entre os níveis eletrônicos de 1 a 5.
Descobrir quais transições emitem luz visível.**

Dicas:

- Calcular a Energia de cada nível (1 a 5);
- Calcular todas as diferenças de energia possíveis;
- Usar a figura 1.48 da pág. 222, do livro, para descobrir quais fótons são “visíveis”.

Equação:

A ENERGIA dos níveis eletrônicos de um átomo de hidrogênio pode ser calculada através da equação:

$$E_n = 13,6 / n^2$$

Onde **n** é o número do nível eletrônico

Parte Teórica:

Livro de Física – páginas 199 a 202 (item 1.3.1) e páginas 221 a 224 (item 1.3.4)

OBS: Há uma pequena incorreção numa imagem do livro (a figura 1.25, pág. 202). Nela a energia do nível fundamental é caracterizada como E_0 , a do segundo nível como E_1 e a do terceiro como E_2 . Nas discussões que fizemos em sala e nas páginas anteriores do livro, estes níveis são descritos, respectivamente como E_1 , E_2 e E_3 .

Sugiro que você faça a correção na figura, adequando-a aos textos anteriores.

Data da Entrega: 24/outubro/2008

Esta atividade deve ser entregue, em papel monobloco, a um(a) dos(as) monitores(as).

Questão 1) Comentário: Como você sabe, o Sol está numa galáxia que chamamos de Via Láctea, exatamente porque, antes do uso astronômico do telescópio, não se sabia que ela era constituída de estrelas, pois não era possível distingui-las. Aliás, o termo “galáxia” quer dizer o mesmo em grego que o termo latino “via láctea”: “caminho de leite”. Hoje sabemos que existem vários tipos de galáxias e que aquela em que vivemos pode ser considerada uma galáxia bem grande. Um dos maiores desafios da Astronomia é exatamente saber a forma exata de nossa galáxia. Isto porque estamos imersos dentro dela, e não a podemos ver como um todo. O que os astrônomos fazem é comparar os dados que observam com as demais galáxias para deduzir como pode ser o formato da nossa. Hoje acreditamos que a nossa galáxia é formada por um bojo, de forma razoavelmente esférica em sua parte mais central, um disco formado de braços espirais e este conjunto envolto por uma esfera de raio muito maior e com uma densidade de estrelas bem menor chamada de halo. O que vemos no céu como a “Via Láctea” é na verdade uma projeção apenas do disco da Via Láctea, afinal, todas as estrelas que vemos no céu, individualmente, estão na nossa galáxia. As demais Galáxias estão tão distantes que poucas distinguimos no céu a olho nu, como as Nuvens de Magalhães, que são satélites da nossa, e a Galáxia de Andrômeda. Não vemos o núcleo de nossa galáxia que seria algo muito brilhante, pois existem nuvens muito finas de matéria que absorvem sua luz. Ao redor da parte mais central orbitam cerca de uma centena de aglomerados globulares, com cerca de centenas de milhares de estrelas. A Via Láctea como um todo deve ter mais de 100 bilhões de estrelas! Você poderia imaginar que as estrelas orbitam ao redor do núcleo como os planetas ao redor do Sol, isto é, keplerianamente. Mas isto não acontece. Primeiro porque, pela própria gravitação newtoniana, quanto mais distante está uma estrela do núcleo da Via Láctea, mais estrelas participam da massa a atraí-la e, assim, maior é a massa ao redor da qual ela orbita e, portanto, a massa a atrair a estrela cresce à medida que uma dada estrela está mais distante do centro da Via Láctea. Segundo, porque existe um grande mistério na Astronomia, chamado de matéria escura, pois a soma das massas das estrelas observadas não seria capaz de explicar o movimento das estrelas. E isto se dá a qualquer distância considerada. Assim, como deveria existir mais massa que não é observada, recorre-se à hipótese de uma massa escura a contribuir gravitacionalmente para explicar as trajetórias observadas. Claro que a massa estimada das nuvens que impedem a chegada da luz do núcleo da Galáxia até nós é levada em conta quando se considera a discussão de matéria escura.

Dados: O Sol está a uma distância de cerca de 27.700 anos luz do centro da Galáxia, o que equivale a $2,6 \times 10^{17}$ km. Ele se move (e com ele todo o sistema solar) com uma velocidade de 250 km/s em uma órbita circular em torno do centro da galáxia. Pela massa da matéria observada, esta velocidade deveria ser de 160 km/s (veja o comentário sobre matéria escura acima).

Pergunta 1a) Quanto tempo (em anos terrestres) o Sol leva para completar uma órbita ao redor do centro da Via Láctea?

Pergunta 1b) Sabendo que o Sol tem uma idade aproximada de 4,5 bilhões de anos, quantas voltas ao redor do centro da Galáxia o Sol já completou desde que foi formado?

Questão 2 - Comentário: As estrelas se formam a partir da fragmentação, seguida da condensação, de nuvens de gás (principalmente Hidrogênio) e poeira muito pouco densas presentes nas galáxias. E isto acontece exatamente porque esta matéria, mesmo muito difusa, se atrai segundo a Lei da Gravitação Universal. À medida que a assim chamada nuvem proto-estelar (pois ainda não é uma estrela) se contrai, sob a influência de sua própria gravitação, a sua temperatura aumenta devido à energia liberada pela contração. É como se a nuvem caindo sobre ela mesma liberasse a energia da queda. Neste estágio a proto-estrela emite radiação no infravermelho. Isto é, ainda não podemos ver a estrela, pois ela está emitindo energia em um comprimento de onda menor do que o comprimento da cor vermelha. Quando a temperatura central da nuvem atinge cerca de dez milhões de graus os núcleos de Hidrogênio (H) começam a sofrer fusão se transformando em núcleos de Hélio (He) na **proporção de 4 H para 1 He**. A energia obtida com a conversão de H em Hélio (He) é suficiente para suprir as necessidades da estrela. A contração cessa, pois agora existe uma fonte de energia térmica que se contrapõe ao colapso gravitacional, e a estrela atinge uma situação de equilíbrio. Assim, os núcleos das estrelas como o Sol, que queimam Hidrogênio são imensos reatores termonucleares, isto é, produzem energia na forma de calor a partir de fusão nuclear. A estrela se mantém estável até que o H do seu núcleo seja consumido, mas isso leva muito tempo - representa aproximadamente 90% da vida da estrela. É nesta fase de equilíbrio, conhecida também como sequencia principal, que o nosso Sol se encontra. A “queima” de Hidrogênio em Hélio produz energia em virtude da conversão de uma pequena quantidade de massa dos átomos de Hidrogênio em energia segundo a famosa fórmula de Albert Einstein de que uma dada quantidade de massa pode ser convertida inteiramente em energia tendo como constante de proporcionalidade o quadrado da velocidade da luz, $E = m c^2$. Esta constante de proporcionalidade confere uma altíssima produção de energia mesmo para quantidades muito pequenas de massa, pois a velocidade da luz é da ordem dos 300.000 km/s. Assim, o átomo de He tem uma massa apenas um pouco menor do que a de 4 H. É assim que o Sol vem produzindo energia já há 4,5 bilhões de anos.

Dados:

Um grama de matéria totalmente convertida em energia produz 90 trilhões de Joules (9×10^{13} kg m²/s²). Sabemos com certeza que o Sol converte aproximadamente 600 milhões de toneladas (6×10^{11} kg) de Hidrogênio em Hélio por segundo e que apenas 1% da massa do Hidrogênio é de fato “queimada” na produção de He. Um grama de Hidrogênio contém $6,02 \times 10^{23}$ átomos.

Pergunta 2a) Calcule a quantidade total de **energia** produzida pelo Sol a cada segundo.

Pergunta 2b) Compare o valor encontrado no item anterior com a energia produzida pela usina de Itaipu em um segundo (14×10^9 Joules). Quanto tempo esta usina leva para produzir o que o Sol produz de energia em um segundo?

Pergunta 2c) Calcule quantos átomos de **Hélio** são produzidos pelo Sol a cada segundo.

Questão 3 - Comentário: Agora que você já sabe a razão das estrelas terem brilho próprio e dos planetas não, vamos falar do brilho das estrelas. Para isto temos de falar ainda de uma das maiores harmonias já vistas entre matemática e natureza: é a escala logarítmica. Um exemplo desta harmonia é exatamente como foi constituída a escala de magnitudes das estrelas, isto é, a diferença de brilho que nós percebemos entre as estrelas é exatamente logarítmica. Ela foi constituída primeiramente por Hiparco (190 a.C. - 120 a.C.) que criou seis classes de brilho

das estrelas que ele podia ver então, a olho nu. Historicamente, os logaritmos foram muito utilizados antes da invenção das calculadoras. Eles facilitavam enormemente os cálculos, pois como a soma do logaritmo de dois números resulta no logaritmo do produto destes dois números (e, é claro, a diferença do logaritmo de quaisquer dois números resulta no logaritmo da divisão entre eles), bastava ter uma tabela de logaritmos para tornar imensas e complicadas contas de multiplicação e divisão em fáceis contas de soma e subtração. Os avanços das grandes navegações muito devem aos logaritmos, pois facilitaram imensamente os trabalhos dos navegadores no cálculo de suas rotas, baseados também na posição das estrelas no céu. A escala de Hiparco foi adotada e só muito tempo depois é que perceberam sua propriedade logarítmica, que estava na verdade baseada na resposta logarítmica do olho humano ao brilho dos objetos. Com o passar do tempo, os astrônomos foram percebendo que o brilho de uma estrela poderia ser maior do que o de outra estrela pela combinação de brilho intrínseco e distância. Logo ocorreu a ideia de que se poderia construir uma escala absoluta de luminosidade. Assim se definiu a magnitude absoluta. A magnitude absoluta M de uma estrela é definida como sendo a magnitude aparente que essa estrela teria se estivesse colocada a uma distância padrão. Essa distância foi escolhida como sendo de 10 parsec (parsec é a unidade de distância astronômica correspondente ao arco de 1 segundo de paralaxe à distância de 1 unidade astronômica, equivalente a $3,085678 \times 10^{13}$ km ou 206264,806 vezes a distância média da Terra ao Sol). A magnitude absoluta do Sol é 4,84, motivo pelo qual se costuma dizer que o Sol é uma estrela de 5ª grandeza. Assim, você já percebeu que a escala de magnitudes é construída de forma tal que quanto menor a magnitude mais brilhante é a estrela.

Pergunta 3a) Pólux, um dos "gêmeos" da constelação do mesmo nome, tem magnitude aparente 1,6 e está a 12 parsec de distância. Betelgeuse, a estrela que fica no ombro direito de Órion, tem magnitude aparente 0,41. As duas estrelas têm a mesma magnitude absoluta. A distância de Betelgeuse até nós é maior ou menor do que a de Pólux? Explique a sua resposta.

Pergunta 3b) Duas estrelas possuem a mesma magnitude aparente. Uma é uma Anã Branca. A outra uma estrela tipo solar. Qual a estrela mais próxima? Explique a sua resposta.

Questão 4 - Na tabela a seguir são apresentados os ângulos de Paralaxe (em segundos de grau) de três estrelas próximas ao Sol.

Estrela	Paralaxe
Próxima Centauri	0,772"
Sírius	0,379"
Procyon	0,286"

Pergunta 4a) Calcule a distância de cada uma delas ao Sol em UA (unidades astronômicas)

Pergunta 4b) Calcule a distância de cada uma delas ao Sol em AL (anos-luz)

Pergunta 4c) A estrela Sírius é a mais brilhante do céu noturno. Explique porque sua paralaxe é menor que a de Próxima Centauri, que é muito menos brilhante (só é possível vê-la com um potente telescópio).

Questão 5 – Comentário: Em 1784 uma estrela na constelação de Cepheus foi observada em várias noites por John Goodricke, que notou que a estrela tornava-se brilhante e depois diminuía seu brilho. As flutuações no brilho repetiam-se novamente a cada cinco dias. Essa foi a primeira estrela cefeida descoberta. Em 1908, no Harvard College Observatory (EUA), Henrietta Leavitt analisou algumas fotografias de duas pequenas galáxias que estão próximas da Via láctea, chamadas de nuvens de Magalhães (Pequena e Grande Nuvem de Magalhães). Ela estudou as cefeidas nas nuvens de Magalhães e notou um padrão de flutuação no brilho: as cefeidas mais brilhantes tinham ciclos maiores de flutuação e a diminuição no brilho variava rapidamente. Leavitt percebeu que todas as estrelas estavam aproximadamente às mesmas distâncias, então comparou o brilho aparente de cada estrela. Apenas através do estudo das cefeidas nas nuvens de Magalhães, ela foi capaz de elaborar uma lei entre luminosidade e o período, elaborando então um diagrama período-luminosidade. Henrietta descobriu também que o período de variação de brilho destas estrelas era inversamente proporcional a sua magnitude, e quanto mais brilhante a estrela, mais lento era o ciclo. Mais ainda, ela mostrou que os ciclos não só dependem do brilho que as estrelas parecem ter (brilho aparente), mas também da quantidade de energia que emitem (luminosidade intrínseca ou absoluta).

No gráfico a seguir é apresentada a relação entre a Luminosidade de um grupo de estrelas variáveis (Cefeidas) e seus períodos de pulsação. A Luminosidade é medida com relação à luminosidade do Sol (L_0).

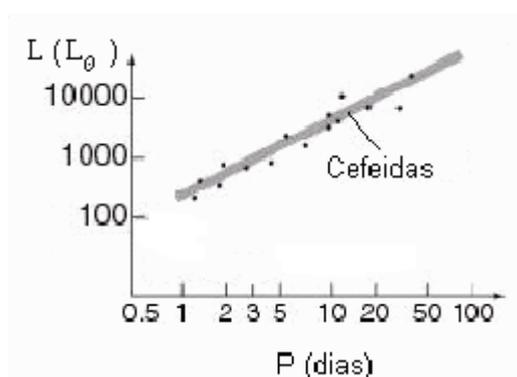


Gráfico do período de pulsação (P) *versus* luminosidade (L) para as Cefeidas, mostrando a boa correlação entre P e L.

Pergunta 5a) Usando o gráfico, estime a Luminosidade de uma estrela cujo período de pulsação é de 15 dias.

Pergunta 5b) Estime o período de pulsação de uma estrela cefeida cuja Luminosidade 10.000 vezes a do Sol.

Data da Entrega: 07/novembro/2008

Esta atividade deve ser entregue, em papel monobloco, a um(a) dos(as) monitores(as).

Questão 1) O astrônomo grego Aristarco de Samos, que viveu por volta de 310 a.C. até 230 a.C., é famoso por ter proposto um sistema de mundo heliocêntrico. Num sistema heliocêntrico o Sol é o centro do Universo e, portanto, a Terra se move ao redor do Sol. Na época, o sistema mais aceito era o geocêntrico, em que a Terra não se move e ocupa o centro do Universo conhecido. Na época, os gregos não adotaram o Sistema Heliocêntrico. O Sistema Geocêntrico continuou sendo o mais aceito nos séculos seguintes, até pelo menos a queda do Império Romano do Ocidente, quando, então, até a esfericidade da Terra não era mais unanimemente aceita. O heliocentrismo só voltou a ser fortemente defendido após a reintrodução do geocentrismo (ocorrida na transição da Alta para a Baixa Idade Média), já durante o Renascimento, a partir do século XV, por pensadores famosos como Copérnico e Galileu. Houve muitos fatores que levaram os gregos a preferirem o geocentrismo. Um deles tem a ver com a paralaxe, discutida na primeira questão. Como vimos, um método utilizado para obter paralaxes é utilizando o tamanho da órbita terrestre. Por outro lado, é imaginável que se possa medir paralaxes também utilizando diferentes localidades na superfície da Terra.

Pergunta 1a) Em qual sistema, heliocêntrico ou geocêntrico, seria mais fácil observar as paralaxes? Por quê?

Pergunta 1b) Como você elaboraria um argumento relacionado à paralaxe que possa ter contribuído para que o Sistema Geocêntrico fosse preferido pelos gregos e mesmo por muitos da época de Galileu e Copérnico?

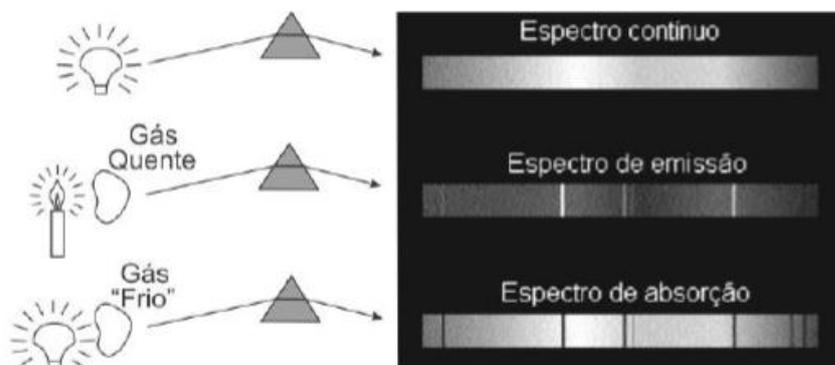
Pergunta 1c) Para a obtenção da distância relativa da Terra ao Sol, ele mediu no céu o ângulo entre a Lua e o Sol, exatamente numa noite em que um quarto da Lua era visto iluminado. A medida desse ângulo não era muito precisa, e o valor obtido foi de 87° . **Faça:** Um desenho da posição relativa do Sol, Terra e Lua, incluindo o ângulo medido por Aristarco. Desenhe os três corpos no mesmo plano, e o triângulo formado com os três corpos nos vértices.

Pergunta 1d) Quantas vezes o Sol estava mais distante do que a Lua para Aristarco, ou seja, qual a razão entre a distância Terra-Sol e a distância Terra-Lua medida por ele? **Dica:** Note que, quando um quarto da Lua está iluminado, o ângulo entre a Terra e o Sol, medido na Lua, seria de 90° . Chame de d à distância Terra-Lua e D à distância Terra-Sol.

Dados: $\cos 3^\circ = \sin 87^\circ = 0,99$ e $\sin 3^\circ = \cos 87^\circ = 0,05$

Questão 2) Composição das Estrelas. Vimos como a distância das estrelas pode ser obtida medindo-se suas paralaxes. Muitas outras características das estrelas podem ser obtidas através da análise da luz proveniente delas. Para viabilizar o estudo detalhado da luz proveniente das estrelas, os astrônomos utilizam diversos instrumentos. Um dos instrumentos mais importantes utilizado por eles é o *espectrômetro*, capaz de decompor a luz das estrelas em suas diversas cores. A sequência de cores formada é chamada de *espectro*. Um exemplo de espectro que você já deve ter observado é o arco-íris, fenômeno natural em que gotas de água decompõem a luz do Sol. A identificação e quantificação dos elementos químicos são com certeza uma das mais impressionantes características que atualmente se pode obter através dos espectros das estrelas. Uma curiosidade histórica a este respeito é que o filósofo francês Auguste Comte (1798-1857), em 1820, chegou a dizer que seria impossível conhecer do que são feitas as estrelas. A observação de linhas escuras no espectro solar, feita por

William Hyde Wollaston (1766-1828), feita em 1802, foi o início de toda a história que viria a demonstrar que Comte estava errado.



O físico alemão Gustav

Robert Kirchhoff (1824-1887) realizou diversos experimentos importantes para estudar as linhas dos espectros. Uma experiência feita foi aquecer gases e observar seus espectros. Ele observou que estes gases não emitiam um espectro contínuo como o arco-íris, sendo que cada elemento gerava uma série de linhas diferentes.

Por exemplo, o neônio tinha linhas no vermelho, o sódio tinha linhas no amarelo e o mercúrio tinha linhas no amarelo e no verde. Estas linhas eram todas brilhantes, diferentes das raias escuras observadas no espectro do Sol e também de outras estrelas, que à época já tinham sido observados. Kirchhoff queria confirmar que as linhas escuras identificadas nos espectros estelares

correspondiam às linhas identificadas no estudo dos gases. Para isto ele fez passar a luz do Sol através de uma chama de

sódio, esperando que as linhas do sódio preenchessem as linhas escuras do Sol. Para sua surpresa, as linhas ficaram mais fortes, mais escuras. Ele então substituiu o Sol por um sólido quente. A luz do sólido que passava pela chama apresentava as mesmas linhas escuras do Sol, na posição das linhas do sódio. Ele então concluiu que o Sol era um gás ou sólido quente, envolto por um gás “mais frio”, isto é, ainda muito quente, porém menos que o corpo sólido quente, ou seja, esta foi a primeira identificação da estrutura de uma estrela, isto é uma parte mais central composta de material mais quente que irradiava energia envolto por uma parte menos quente que foi chamada de *atmosfera* da estrela. Estas camadas menos quentes, ou seja, a atmosfera da estrela, é que produziam as linhas escuras do Sol. Comparando espectros, ele descobriu linhas associadas aos elementos magnésio, cálcio, cromo, cobalto, zinco, bário e níquel no espectro do Sol.

Os resultados das experiências de Kirchhoff estão apresentados de forma visual na figura **acima**. Nas três figuras estão

apresentados espectros obtidos ao passar feixes de luz por um prisma em diferentes situações.

Acima é o caso de uma

lâmpada, que apresenta espectro contínuo. A segunda situação exemplifica o caso de um gás quente que apresenta um

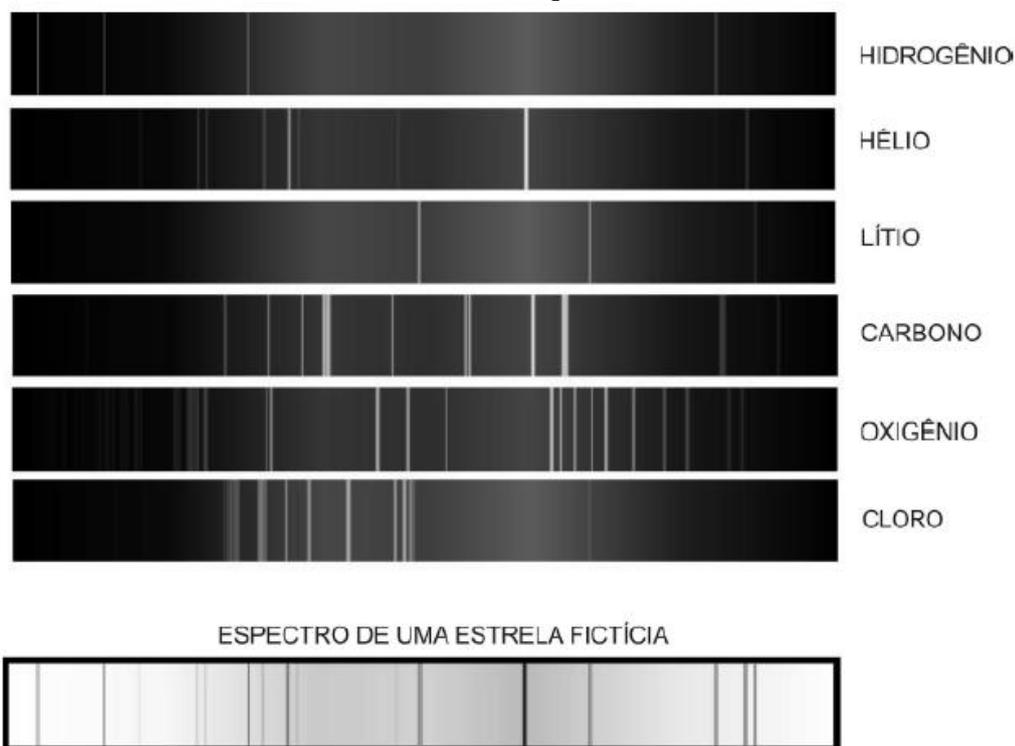
espectro de emissão de raias. O terceiro caso é o de um espectro de absorção, onde um gás “frio” (menos quente) absorve uma parte da energia do espectro contínuo da lâmpada.

Pergunta 2a) Abaixo apresentamos o espectro simplificado de uma estrela fictícia, contendo inúmeras raias escuras.

Identifique os elementos presentes na estrela fictícia (último espectro), procurando conjuntos de linhas correspondentes a um dado elemento.

Obs.: Você já deve ter lido que os elementos primordiais do universo são basicamente hidrogênio, hélio e lítio. Isto significa que todos os demais existentes hoje no universo, como

todos aqueles necessários à vida aqui em nosso planeta, foram produzidos e espalhados no meio interestelar por meio de processos de evolução e morte estelar. Neste sentido é que dizemos que somos “poeira de estrelas”, isto é, para que nós, seres com células baseadas em carbono, pudéssemos habitar um planeta rochoso com oceanos e atmosfera de nitrogênio, oxigênio e gás carbônico, foi necessário que estrelas morressem. Não é por outro motivo que a atmosfera do nosso Sol é tão rica em elementos químicos.



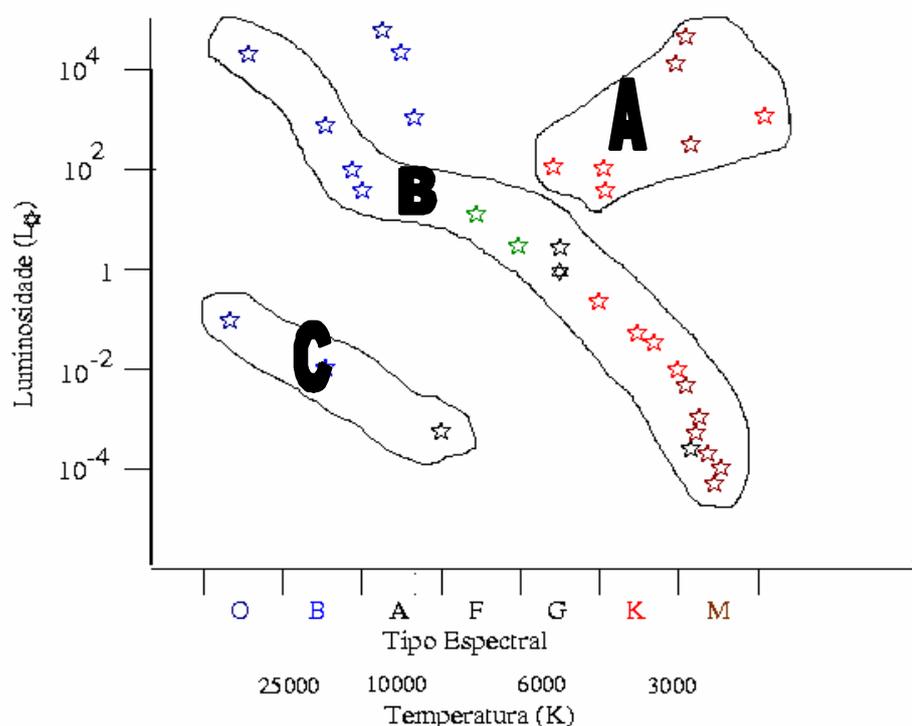
Pergunta 2b) Apenas identificando as linhas escuras de dois espectros de estrelas diferentes, um astrônomo pôde concluir que uma delas provavelmente era mais velha do que a outra. Como você acha que ele chegou a esta conclusão?

Pergunta 2c) Baseado nas suas duas respostas anteriores, diga se é provável, ou não, que a estrela fictícia do item **2a** possa conter planetas habitáveis com vida similar à terrestre. Justifique.

Data da Entrega: 14/novembro/2008

Esta atividade deve ser entregue, em papel monobloco, a um(a) dos(as) monitores(as).

Questão 1) Comentário: Uma revolução da Astronomia foi exatamente a possibilidade de análise da luz recebida das estrelas e com isto podermos saber, por exemplo, quais elementos químicos estão presentes em sua atmosfera. Chamamos de espectro de uma estrela à decomposição da luz de uma estrela ao fazer esta luz passar por um prisma, por exemplo. Já há muito tempo a classificação espectral se baseia na variação da temperatura superficial das estrelas. Ao se arranjar os grupos formados na classificação inicial segundo este novo critério de temperatura, os tipos espectrais se distribuíram da seguinte maneira: **O, B, A, F, G, K, M** onde o tipo O corresponde às estrelas mais quentes, e as do tipo M, às mais frias. Este sistema é comumente chamado de sistema MKK (Morgan, Keenan e Kelman) de classificação espectral. As sete letras acima formam o núcleo da classificação que é composta ao todo por treze letras. Cada tipo espectral é ainda subdividido em dez partes e são denominados por números arábicos (e.g.: A3, K7, M1). O Diagrama de Hertzsprung Russell, conhecido como diagrama HR, foi construído independentemente pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967), em 1911, e pelo americano Henry Norris Russell (1877-1957), em 1913, como uma relação existente entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura superficial. Hertzsprung descobriu que estrelas da mesma cor podiam ser divididas entre luminosas, que ele chamou de gigantes, e estrelas de baixa luminosidade, que ele chamou de anãs. Desta forma, o Sol e a estrela Capela têm a mesma classe espectral, isto é, a mesma cor, mas Capela, uma gigante, é cerca de 100 vezes mais luminosa que o Sol. Tanto a luminosidade (ou magnitude absoluta) como a temperatura superficial de uma estrela, são características facilmente determináveis para estrelas de distâncias conhecidas: a primeira pode ser encontrada a partir da magnitude aparente, e a segunda a partir de sua cor ou tipo espectral. Nesses diagramas é adotada a convenção de que a temperatura cresce para a esquerda, e a luminosidade para cima. A primeira coisa que se nota em um diagrama HR, é que as estrelas não se distribuem igualmente nele, mas se concentram em algumas partes. A maior parte das estrelas está na assim chamada sequência principal. O fator que determina onde uma estrela se localiza na sequência principal é a sua massa: estrelas mais massivas são mais quentes e mais luminosas. As estrelas da sequência principal têm, por definição, classe de luminosidade V, e são chamadas de anãs. Um número substancial de estrelas também se concentra acima da sequência principal, na região superior direita (estrelas frias e luminosas). Essas estrelas são chamadas gigantes, e pertencem à



classe de luminosidade II ou III. Bem no topo do diagrama existem algumas estrelas ainda mais luminosas: são chamadas supergigantes, com classe de luminosidade I. Finalmente, algumas estrelas se concentram no canto inferior esquerdo (estrelas quentes e pouco luminosas): são chamadas anãs brancas. Apesar do nome, essas estrelas na verdade cobrem um intervalo de temperatura e cores que abrange desde as mais quentes, que são azuis ou brancas, e têm temperatura superficiais de até 140 000 K, até as mais frias, que são vermelhas, e têm temperaturas superficiais de apenas 3500 K.

Observação: A luminosidade 1 é a luminosidade do Sol.

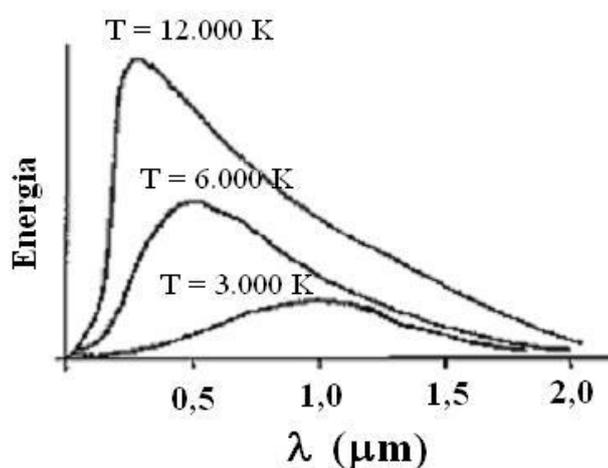
Pergunta 1a) De acordo com a figura associe os nomes das áreas assinaladas como A, B e C aos grupos de estrelas conhecidos como gigantes vermelhas, anãs brancas e sequencia principal

Pergunta 1b) Determine em qual faixa espectral se localiza uma estrela bem mais quente que o Sol e quando ainda estão na fase de queima de Hidrogênio.

Pergunta 1c) Explique porque a ideia de evolução estelar (isto é, a ideia de que as estrelas mudam de aspecto ao longo de suas vidas) nasceu da montagem do Diagrama H-R.

Pergunta 1d) Em sua evolução o Sol passará pelos três estágios definidos pelos grupos A, B e C. Determine esta sequencia e diga em qual região do gráfico ele permanecerá por menos tempo.

QUESTÃO 2 - O gráfico abaixo apresenta o espectro de três estrelas diferentes, relacionando a quantidade de energia com comprimento de onda da radiação eletromagnética que cada uma emite.



O desenho abaixo representa o espectro da luz visível, que tem os seguintes comprimentos de onda (λ).

[Obs.: $1\mu\text{m}$ (1 micrometro) = 0,001 milímetro]

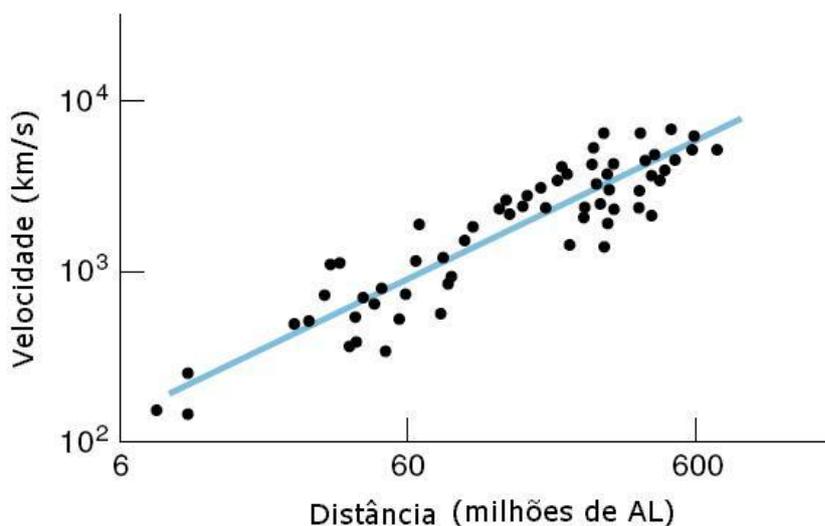


Pergunta 2a) Sabendo que a relação entre a cor de uma estrela e a temperatura (T) de sua superfície está ligada ao pico do espectro desta estrela, diga qual a cor de cada uma das três estrelas deste gráfico.

Pergunta 2b) Com os dados dos gráficos, diga qual a temperatura aproximada da superfície do Sol. Descreva como chegou a esse resultado.

Pergunta 2c) Se o Sol tem uma cor específica, explique como podemos ver um espectro praticamente contínuo ao passarmos sua luz por um espectroscópio?

QUESTÃO 3 - No gráfico, cada ponto preto corresponde a uma galáxia e a linha mais clara corresponde à tendência indicada pela Lei de Hubble. A distância é apresentada em milhões de Anos-Luz (AL).



Pergunta 3a) Qual a relação entre a distância e a velocidade das galáxias do Universo indicada pela Lei de Hubble?

Pergunta 3b) A Lei de Hubble é usada como uma “comprovação” da Teoria do Big-Bang. O que ela sugere sobre a estrutura do Universo que “comprova” esta teoria?

Pergunta 3c) Medidas do Redshift (Desvio para o Vermelho) de uma galáxia na Constelação de Virgem mostram que ela está se afastando de nós com uma velocidade de 1200 km/s. Usando a Lei de Hubble, estime a distância que nos separa desta galáxia. Descreva como chegou ao resultado.

