



Pós-Graduação em **Astronomia**
MESTRADO PROFISSIONAL
UEFS



CLEDSTON MARIO DE SANTANA LIMA

**INSERÇÃO DE TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO USANDO A
ASTRONOMIA COMO MEDIADORA DO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM**

FEIRA DE SANTANA

2018

CLEDSTON MARIO DE SANTANA LIMA

**INSERÇÃO DE TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO USANDO A
ASTRONOMIA COMO MEDIADORA DO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Astronomia, Departamento de Física,
Universidade Estadual de Feira de Santana, como
requisito parcial para a obtenção do título de Mestre
em Ensino de Astronomia

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto de Lima Ribeiro

FEIRA DE SANTANA

2018



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CANDIDATO (A): CLEDSTON MARIO DE SANTANA LIMA

DATA DA DEFESA: 18 de outubro de 2018 **LOCAL:** Sala 15 do LABOFIS - UEFS

HORÁRIO DE INÍCIO: 14:42h

MEMBROS DA BANCA		FUNÇÃO	TÍTULO	INSTITUIÇÃO DE ORIGEM
NOME COMPLETO	CPF			
CARLOS ALBERTO DE LIMA RIBEIRO	848.990.004-30	Presidente	DR	DFIS - UEFS
EDUARDO BRESANSIN DE AMÓRES	181.850.838-94	Membro Interno	DR	DFIS - UEFS
MARIA CLÁUDIA SILVA DO CARMO	436.010.305-00	Membro Externo	DR	DEDU - UEFS

TÍTULO DEFINITIVO DA DISSERTAÇÃO*:

INSERÇÃO DE TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO USANDO A ASTRONOMIA COMO MEIO FACILITADOR DO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM.

*Anexo: produto(s) educacional(is) gerado(s) neste trabalho.

Em sessão pública, após exposição de 51 min, o(a) candidato(a) foi argüido(a) oralmente pelos membros da banca, durante o período de 1h 32min. A banca chegou ao seguinte resultado**:

- APROVADO(A)
 INSUFICIENTE
 REPROVADO(A)

** Recomendações¹: Atender às ponderações da Banca em seus pareceres.

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, que é abaixo assinada pelos membros da banca, na ordem acima relacionada, pelo candidato e pelo coordenador do Programa de Pós-Graduação em Astronomia da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Feira de Santana, 18 de outubro de 2018

Presidente: Carlos Alberto de Lima Ribeiro
Membro 1: Eduardo Brescini de Amôres
Membro 2: Maria Cláudia Silva do Carmo
Membro 3: _____
Candidato (a): Cledston Mario de Santana Lima
Coordenador do PGAstro: [Assinatura]

¹ O aluno deverá encaminhar à Coordenação do PGAstro, no prazo máximo de 60 dias a contar da data da defesa, os exemplares definitivos da Dissertação, após realizadas as correções sugeridas pela banca.



**ANEXO DA ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO:
PRODUTO(S) EDUCACIONAL(IS) GERADO(S) NO TRABALHO FINAL DE CURSO**

CANDIDATO (A): CLEDSTON MARIO DE SANTANA LIMA

DATA DA DEFESA: 18 de outubro de 2018 LOCAL: Sala 15 do LABOFIS - UEFS

HORÁRIO DE INÍCIO: 14:42h

Seqüência Didática 1 - Uma estrela nasce, cresce e morre.

Seqüência Didática 2 - Como os astrônomos sabem tantas coisas sobre as estrelas.

Livro Paradidático com o título:

Compreendendo a Evolução Estelar a partir de conceitos de Física Moderna.

Feira de Santana, 18 de outubro de 2018.

Presidente: Carlos Alberto de Lima Ribeiro

Membro 1: Eduardo Bressanini de Araújo

Membro 2: Maric Cláudio Silva do Carmo

Membro 3: _____

Candidato (a): Cledston Mario de Santana Lima

Coordenador do PGAstro: Tenório J. Quint

Ficha Catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado - UEFS

- L697 Lima, Cledston Mario de Santana
Inserção de tópicos de física moderna no ensino médio usando a astronomia como mediadora do processo de ensino-aprendizagem / Cledston Mario de Santana Lima. – 2018.
141 f.: il.
- Orientador: Carlos Alberto de Lima Ribeiro.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-graduação em Astronomia – Mestrado Profissional, 2018.
1. Física – Ensino. 2. Astronomia – Ensino. 3. Física moderna – Ensino médio. 4. Ensino-aprendizagem. I. Ribeiro, Carlos Alberto de Lima. II. Universidade Estadual de Feira de Santana. III. Título.
- CDU: 53+52(07)

À minha esposa e filhos, que encararam com tranquilidade as ausências para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus pais que, mesmo sem terem escolaridade avançada, sempre me encorajaram a estudar.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o Prof. Dr. Carlos Alberto de Lima Ribeiro, pela paciência e correções importantes no trabalho, sempre com serenidade.

À Prof. Dra. Vera Aparecida Fernandes Martin, por conduzir esse programa de mestrado com mãos firmes, mas sem nunca perder a leveza.

Ao Prof. Dr. Marildo Geraldête Pereira, por compartilhar comigo seus conhecimentos sobre as Estrelas e pelas muitas vezes em que foi meu professor, desde a graduação.

Aos estudantes que participaram dessa pesquisa e prontamente executaram as atividades propostas, dando sugestões valiosas durante o processo.

Aos meus colegas de pós-graduação, turma 4, conhecida como Alfa Centauri: Adaltro, Claudiana, Eraldo, Joalice, Jucelia, Katy, Manoel, Marcos, Marcus, Milena e Rita de Cassia. Passamos bons e difíceis momentos juntos, mas nunca perdemos nosso jeito peculiar de ver a vida, sempre rindo e nos ajudando.

Aos demais professores do Programa de Mestrado Profissional em Astronomia, pela sua dedicação e oportunidade de aprendizado.

“A ciência nada mais é do que o senso comum refinado e disciplinado.”
Gunnar Myrdal.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XIII
RESUMO.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	8
1.1- DA PRÁTICA CIENTÍFICA À SALA DE AULA.....	10
1.2- O CARÁTER EXPERIMENTAL DA FÍSICA NA SALA DE AULA.....	13
CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
2.1- PROBLEMATIZAÇÃO EM AÇÃO.....	16
2.2- PRIMEIRO MOMENTO: ORGANIZANDO AS AÇÕES FUTURAS.....	19
2.3- APLICAÇÃO DA PESQUISA.....	25
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS.....	50
3.1- EVOLUÇÃO ESTELAR.....	50
3.2- EXPERIMENTOS.....	56
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES.....	76
REFERÊNCIAS.....	80
APÊNDICES.....	85
ANEXOS.....	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estágios do conhecimento.....	12
Figura 2- Etapas da problematização em sala de aula.....	18
Figura 3- Resultados do levantamento de conhecimentos prévios 1.....	20
Figura 4- Resultados do levantamento de conhecimentos prévios 2.....	21
Figura 5- Mapa Conceitual da pesquisa.....	24
Figura 6- Infográfico Evolução Estelar.....	28
Figura 7- Fotos dos grupos: 3 A CEJFP; 3 A CMLEM.....	30
Figura 8- Fotos dos grupos: 3 B CEJFP; 3 G CMLEM.....	31
Figura 9- Foto vídeo 1.....	32
Figura 10- Foto vídeo 2.....	32
Figura 11- Foto vídeo 3.....	33
Figura 12- Foto vídeo 4.....	33
Figura 13- Foto vídeo 5.....	34
Figura 14- Comentários feitos dentro dos grupos 1.....	35
Figura 15- Efeito Fotoelétrico.....	42
Figura 16- Simulação do Efeito Fotovoltaico em células solares.....	42
Figura 17- Dispositivo de Carga Acoplada (CCD).....	43
Figura 18- Comparando a visão humana com a visão artificial.....	44
Figura 19- Equipe CMLEM: Importância do Sol para a vida.....	51
Figura 20- Equipe CMLEM: Constelações.....	51
Figura 21- Equipe CMLEM: Atmosfera Solar.....	52
Figura 22- Equipe CMLEM: O Sol visto por civilizações diferentes.....	52
Figura 23- Equipe CMLEM: Comparando o Sol com outras estrelas.....	53
Figura 24- Equipe CMLEM: O Sol visto por civilizações diferentes.....	53

Figura 25- Equipe CEJFP: Atmosfera Solar.....	54
Figura 26- Mapa Conceitual 1.....	55
Figura 27- Mapa Conceitual 2.....	55
Figura 28- Montagem com o fotorresistor.....	57
Figura 29- Equipamento simulando um poste de iluminação pública.....	58
Figura 30- Imagens obtidas com tempos de exposição diferentes 1.....	59
Figura 31- Imagens obtidas com tempos de exposição diferentes 2.....	60
Figura 32- Imagens obtidas com tempos de exposição diferentes 3.....	61
Figura 33- Imagens obtidas com tempos de exposição diferentes 4.....	62
Figura 34- Experimento cor e temperatura 1.....	63
Figura 35- Experimento cor e temperatura 2.....	63
Figura 36- Fotografias de corpo celeste 1.....	64
Figura 37- Fotografias de corpo celeste 2.....	64
Figura 38- Modelos de espectroscópios caseiros 1.....	65
Figura 39- Modelos de espectroscópios caseiros 2.....	66
Figura 40- Espectroscópio caseiro para <i>smatphone</i>	66
Figura 41- Espectro solar, de uma lâmpada de <i>led</i> e uma lâmpada de luz negra.....	67
Figura 42- Tabelas de espectros preenchida pelas equipes 1.....	68
Figura 43- Tabelas de espectros preenchida pelas equipes 2.....	68
Figura 44- Tabelas de espectros preenchida pelas equipes 3.....	69
Figura 45- Tabelas de espectros preenchida pelas equipes 4.....	69
Figura 46- Vídeo demonstrativo do Efeito Fotoelétrico 1.....	70
Figura 47- Vídeo demonstrativo do Efeito Fotoelétrico 2.....	71
Figura 48- Equipe demonstrando o experimento com as latinhas.....	71
Figura 49- Vídeo demonstrativo Efeito Fotoelétrico 3.....	72
Figura 50- Equipe montando o espectroscópio.....	72

Figura 51- Equipe demonstrando os espectros para fontes diferentes.....	73
Figura 52- Vídeo demonstrativo Efeito Fotoelétrico 4.....	74
Figura 53- Vídeo demonstrativo Efeito Fotoelétrico 4.1.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Comparativo entre visões filosóficas do trabalho científico e a sala de aula.....	9
Tabela 2- Conceitos para a compreensão da Evolução Estelar.....	23
Tabela 3- Classificação espectral de Harvard para as estrelas.....	40
Tabela 4- Para preenchimento de espectros de diversas fontes.....	47

RESUMO

Esta pesquisa apresenta os resultados de uma proposta para a inserção de tópicos de Física Moderna no Ensino Médio. Para isso, foi usada a Astronomia como motivadora, mostrando toda a relação e influência entre as duas áreas. A aplicação foi feita em quatro turmas da Terceira Série do Ensino Médio, um total de 123 estudantes, por entender que os mesmos possuem maturidade conceitual e intelectual para a compreensão do conteúdo e execução das tarefas propostas. Os conteúdos escolhidos para tal foram: Evolução Estelar, que usa basicamente conceitos da Física Nuclear; Radiação Térmica e Espectroscopia, base para a compreensão da composição de uma estrela; e por fim, o Efeito Fotoelétrico, que influenciou tanto a Astronomia Observacional. Foi adotado o método investigativo, relacionando teoria e experimento, com o objetivo de provocar nos estudantes um senso crítico científico, proporcionando uma visão ampla dessa atividade. Em geral, as atividades foram integradas aos conteúdos vistos em sala de aula, com o auxílio da internet, como redes sociais em geral. Percebeu-se um forte envolvimento dos estudantes nas atividades propostas, tendo ficado claro esse aspecto pela forma como executaram as tarefas. Ao final foi desenvolvido um produto educacional, na forma de um livro, produzido a partir das notas de aula executadas, abordando as principais ideias que levaram ao entendimento atual da Evolução Estelar, dando ênfase às contribuições das descobertas iniciais que levaram ao que se conhece hoje como Física Moderna.

Descritores: Ensino de Física. Ensino de Astronomia. Física Moderna. Currículo. Problematização na Sala de Aula. Relação Teoria-Experimento. Ciência e Tecnologia.

Abstract

This research presents the results of a proposal for the insertion of topics of Modern Physics in High School. For this purpose, Astronomy was used as a motivator, showing all the relation and influence between the two areas. The application was made in four classes of the Third Series of High School, a total of 123 students, because they understand that they have conceptual and intellectual maturity to understand the content and execution of the proposed tasks. The contents chosen for this were: Star Evolution, which basically uses concepts of Nuclear Physics; Thermal Radiation and Spectroscopy, basis for understanding the composition of a star; and finally, the Photoelectric Effect, which influenced both Observational Astronomy. It was adopted the investigative method, relating theory and experiment, with the objective of provoking in students a critical scientific sense, providing a broad view of this activity. In general, the activities were integrated into the contents seen in the classroom, with the help of the internet, as social networks in general. There was a strong involvement of students in the proposed activities, and this was clear from the way they performed the tasks. In the end, an educational product was developed in the form of a book, produced from the lecture notes, addressing the main ideas that led to the current understanding of Star Evolution, emphasizing the contributions of the initial discoveries that led to what is known today as Modern Physics.

Key words: Teaching Physics. Teaching of Astronomy. Modern Physics. Curriculum. Problematization in the Classroom. Relation Theory-Experiment. Science and Technology.

INTRODUÇÃO

Diante da proposta executada no presente trabalho, é de suma importância estabelecer a motivação para o tema em questão, bem como a relevância e sua aplicabilidade no ensino de Física. A ideia foi juntar dois temas estratégicos, a saber, Física Moderna e Contemporânea e Astronomia, que geram bastante discussão no meio acadêmico e que, cada qual com suas peculiaridades, despertam interesse em estudantes que queiram seguir carreira científica ou não.

O objetivo principal desta pesquisa foi introduzir tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, entendendo a mesma como englobando as teorias da Física que surgiram a partir do final do século XIX e início do século XX, quando foram rompidos paradigmas pertencentes à chamada Física Clássica, baseada especificamente nas ideias da mecânica newtoniana e do eletromagnetismo. Essas novas formas de encarar fenômenos antigos e novos proporcionaram um grande desenvolvimento, não só das ferramentas de investigação científica, como também de tecnologias que foram incorporadas à vida comum, num avanço talvez nunca antes visto na história humana (Peruzzo et. al., 2012). Seria natural, portanto, que a compreensão desses avanços não ficasse restrita somente aos círculos científicos, mas que fosse incorporada ao ensino em seus diversos níveis. Nesse sentido, “é preocupante como o ensino de ciências, particularmente a física no ensino médio, não tem acompanhado esse desenvolvimento e cada vez mais se distancia das necessidades dos alunos no que diz respeito ao estudo de conhecimentos científicos mais atuais” (Gerbassi, Vianna e Oliveira, 2007, p. 447).

Portanto, há a necessidade de problematizar o currículo de Física nas escolas de Ensino Médio, fazendo com que estes se adequem às novas propostas e principalmente aos PCN, que preconizam a incorporação de tópicos de Física Moderna e Contemporânea ao longo das três séries dessa esfera de ensino. Especificamente na parte que trata da Física, há o tópico “Matéria e Radiação”, pertencente ao tema 5, que fala sobre matéria, radiações, energia nuclear, eletrônica e outros. Esses temas requerem uma compreensão de tópicos como estrutura

atômica, radioatividade e efeito fotoelétrico (Loch e Nilson, 2009), fenômenos particulares que deram início à grande revolução científica que ocorreu no século XX.

De certa forma, esse aspecto deve ser reforçado pelo fato de que os estudantes trazem para a sala de aula curiosidades sobre esses temas, oriundas de leituras extraclases, como jornais, revistas e internet, bem como do acesso às notícias veiculadas pela mídia televisionada, que despertam seu interesse e podem ser usadas pelo professor como forma de introdução desses temas. Na maioria dos casos, o estudante pode perder o interesse na aula pela falta de encaminhamento dessas discussões, causando bloqueio no entendimento dos demais conteúdos.

Como a Astronomia pode contribuir? O ser humano sempre foi fascinado pelo céu; desde os primórdios olhava para cima como que maravilhado com o que observava. Primeiro, com os olhos de uma criança, vendo em algo grandioso, sinais de coisas que encontrava no dia a dia: animais, plantas etc. As divindades surgiram nos céus para zelar pelos seus súditos, ao passo que estes os reverenciavam com monumentos, sacrifícios e narrativas de seus feitos e sobre a criação de tudo. Do alvorecer do ser humano ao ato de olhar para o céu numa busca de ordem foi questão de tempo. Mesmo com os céus povoados de deuses e deusas, percebia-se já o fato de seus movimentos serem regulares, o que os ajudou a prever fenômenos e também relacioná-los com suas tarefas diárias; a agricultura se desenvolveu fortemente sob a influência dessas regularidades (Capozzoli *et. al.*, 2011).

A evolução de nosso intelecto, o fato do ser humano ter deixado de ser nômade, com a fixação de aldeias, depois vilarejos e cidades, domesticação de animais, construção de instrumentos e máquinas rudimentares, desenvolvimento de técnicas para tarefas específicas e outras mudanças, fizeram com que a relação entre o ser humano e a natureza fosse deixando de ser meramente contemplativa para se tornar ativa. Todas essas observações culminaram com o nascimento do que talvez seja a primeira ciência: a Astronomia, que ao longo dos séculos foi ganhando caráter científico e fazendo parte de uma cultura maior (Capozzoli *et. al.*, 2011; Wuensche, 2009).

Constata-se, nesse sentido, que essa disciplina desperta o interesse das pessoas desde muito cedo. E com estudantes da Educação Básica não é diferente; seja dando enfoque científico ou mesmo religioso, as discussões sobre o tema com frequência vêm à tona nas aulas de Ciências (especificamente de Física). O modo

como tratá-los pode fazer toda a diferença, na medida em que distorções podem ser desfeitas com o incentivo correto por parte do professor.

Alguns trabalhos destacam a importância do estudo da Astronomia na Educação Básica, entre eles os de Soler e Leite (2012) e Klein *et. al.* (2010), apontando justificativas para a inserção desses temas mediante o mapeamento de pesquisas na área. Em quase todos se observa o destaque para o aumento do interesse, como a Astronomia despertando os sentidos, ampliação de visão de mundo, relevância sociocultural e mais importante, o seu caráter interdisciplinar. Este último pode ser evidenciado pela quantidade de áreas que a Astronomia usa em suas abordagens, desde Física e Matemática, até Filosofia e História. A capacidade de diálogo entre disciplinas, algo preconizado por diversas pesquisas em ensino, inclusive pelos documentos oficiais, como a Lei de Diretrizes e Bases (LDB) e os PCN, pode se tornar mais fácil se forem utilizadas ferramentas que possam fomentar discussões, como é o caso dos temas ligados à Astronomia, que podem servir de mote para a introdução de diversos conteúdos (Gama e Henrique, 2010, p. 11). Ainda segundo os autores, esse aspecto pode ser usado para problematizar os conteúdos a partir de perguntas ligadas a área em questão, se desdobrando em um aprendizado mais significativo. Os PCN também sugerem a abordagem dos tópicos no tema 6, intitulado Universo, Terra e Vida, englobando a Terra e o Sistema Solar, a origem do universo e sua compreensão pelo ser humano, abrindo o precedente para discussões epistemológicas sobre como a ciência apreende o mundo que nos cerca.

Ainda no que tange aos documentos oficiais, há uma ampla discussão sobre a reforma da Educação Básica como um todo, a chamada BNCC (Base Nacional Curricular Comum), onde neste momento carece de uma finalização o documento sobre o Ensino Médio e sua reforma. Mas considerando que a proposta para o Ensino Fundamental já foi aprovada, há uma distribuição de alguns tópicos de Astronomia ao longo das séries, sendo que ênfase maior é dada no nono ano (antiga oitava série), com os tópicos: Composição, estrutura e localização do Sistema Solar no Universo; Astronomia e cultura; Vida humana fora da Terra; Ordem de grandeza astronômica e Evolução Estelar. Destacando-se o tema sobre Evolução Estelar, na habilidade EF09CI17, lê-se: “Analisar o ciclo evolutivo do Sol (nascimento, vida e morte) baseado no conhecimento das etapas de evolução de estrelas de diferentes dimensões e os efeitos desse processo no nosso planeta”.

Quando se observam as descobertas recentes da Astronomia, sempre fica evidente que o embasamento teórico vem da Física Moderna e Contemporânea (FMC), onde sua aplicação tem permitido um grande avanço no entendimento do universo. Nesse sentido, segundo Henrique *et. al.* (2010) “a cosmologia é um tema que contribui para a inserção da física moderna e contemporânea no currículo de física e pode ser fascinante, permitindo discussões a respeito da natureza da ciência no ensino de forma natural”.

Levando em consideração que a característica principal da ciência é o fato de que o conhecimento produzido é sempre resposta a um questionamento (Bachelard, 1996), isso pode ser transposto de forma quase que integral ao ensino, demonstrando ao estudante que mais importante que aprender conceitos preestabelecidos, é entender como se deu a construção de temas relevantes para a sociedade hoje. Nesse sentido, a Astronomia se mostra bastante importante para garantir esse aspecto, já que se utiliza de conceitos oriundos e desenvolvidos pela Física.

Os próprios Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio preconizam que o entendimento da Cosmologia, com seus modelos de universo e compreensão de suas entidades particulares requer um embasamento não só de conteúdos da Física Clássica como também da FMC. Assim, faz-se necessário diluir o conteúdo ao longo de todo o curso e não como um tópico isolado localizado geralmente ao final da terceira série, como ocorre com a maioria da última leva de livros didáticos de Física produzidos para uso no Ensino Médio (PNLD 2015). Faz-se necessário introduzir as discussões da Astronomia e da Física Moderna ao longo de todas as unidades de ensino, integrando ao máximo cada tema gerador ao conteúdo abordado em sala de aula.

A Física Moderna teve seu início com dois problemas fundamentais: a propagação da luz e a criação e absorção da luz pela matéria (Lima, 2006). O primeiro problema fez surgir a Teoria da Relatividade de Albert Einstein e o segundo, a Teoria Quântica, teorias que serviram de base para muitas outras desenvolvidas posteriormente. A Astronomia em particular deu um grande salto quando percebeu que alguns fenômenos, como a produção de energia nas estrelas, poderiam ser melhor compreendidos com o auxílio dessas novas ideias, permitindo o entendimento maior de partes de seus mistérios bem como o desenvolvimento de uma série de tecnologias que melhoraram a precisão de observações e medidas.

A pesquisa apresentada no presente trabalho foi aplicada em quatro turmas da Terceira Série do Ensino Médio, o que se justifica pelo fato dos mesmos já terem visto grande parte do conteúdo básico da disciplina, como Mecânica, Física Térmica e um pouco de Óptica Geométrica. A maturidade em relação ao conteúdo e em relação às atividades que foram executadas (debates, experimentos, estudos dirigidos etc.) foi um fator preponderante para a escolha do público alvo, imaginando-se que com isso houvesse um maior compromisso na realização das mesmas, facilitando a análise dos resultados, bem como permitindo uma maior compreensão das teorias trabalhadas, pensando na ruptura epistemológica que a Física Moderna provocou no pensamento.

Levando em consideração esse aspecto, foram escolhidos conteúdos que fazem parte dos primórdios de uma dessas teorias, a Física Quântica, pela sua aplicabilidade e capacidade de despertar nos estudantes uma imensa curiosidade, embora em princípio pareça confusa.

Como um dos desdobramentos dos objetivos do trabalho foi observar a importância da Física Moderna na Astronomia, começou-se pelo estudo do fenômeno da Evolução Estelar, assunto que fascina a muitos. A Física Estelar passa pela etapa da geração de energia nesses objetos, o que pode ser entendido com o auxílio da Física Nuclear, área que se desenvolveu com o estudo da estrutura atômica baseada especificamente na Física Quântica.

Sem a preocupação de manter uma linearidade com os fatos históricos, seguiu-se com o entendimento de que a temperatura de uma estrela como o Sol pode ser estudada através da luz que emite. Isso foi contemplado com o estudo da Radiação Térmica, o problema que deu início à Física Quântica, com a definição de Corpo Negro e a Lei de Stefan-Boltzmann.

Ainda nos primórdios da Física Moderna e fazendo uma ponte com a Física Clássica, o tipo de espectro que uma estrela emite foi usado para determinar quais elementos químicos a compõem, assunto para a Espectroscopia, desenvolvida quando Isaac Newton espalhou a luz branca do Sol com um prisma, área que ganhou novos contornos no final do século XIX e início do século XX.

A ideia de quantização foi introduzida por Max Planck em 1900, quando se debruçou sobre o problema da radiação de Corpo Negro e ampliada quando Albert Einstein aplicou a mesma na compreensão do Efeito Fotoelétrico. Ele propôs que a

luz fosse composta por partículas, posteriormente chamadas de fótons. O objetivo aqui foi articular História e Filosofia da Ciência, na medida em que se justifica a hipótese de quantização e a importância desse trabalho para o posterior desenvolvimento da Mecânica Quântica. Esse efeito pode ser encontrado em várias aplicações do dia a dia, embora a ênfase dada seja no estudo das câmaras de CCD, que revolucionaram o modo como os astrônomos observam o universo.

Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo geral introduzir tópicos de Física Moderna no Ensino Médio com o auxílio da Astronomia. Para tal intento, serão elencados abaixo os objetivos específicos:

1. Elaborar um produto educacional, na forma de um livro paradidático, abordando o tema Evolução Estelar, na medida em que os tópicos de Física Moderna listados acima são discutidos de forma a integrar todo o conteúdo, dando ênfase, quando possível, a discussões históricas e filosóficas sobre o tema;
2. Proporcionar aos alunos a percepção de que as ideias da Física Moderna e Contemporânea proporcionaram o desenvolvimento da Astronomia;
3. Proporcionar a compreensão do trabalho científico mediante a discussão de aspectos teóricos e filosóficos de uma teoria;
4. Compreender a importância da relação entre teoria e experimento para o trabalho científico;
5. Usar as redes sociais para que os estudantes possam interagir entre si, bem como com o professor para o desenvolvimento de atividades diversas;
6. Estabelecer a relação entre ciência e tecnologia;
7. Fomentar o protagonismo estudantil em relação à ciência e tecnologia;
8. Provocar nos estudantes um senso crítico com relação à atividade científica, proporcionando assim uma visão ampla da mesma.

A seguir, serão apresentados a fundamentação teórica para o desenvolvimento da pesquisa e preparação das atividades, ancoradas na ideia de problematização, na tentativa de aproximar a ciência feita pelos cientistas da ciência ensinada na sala de aula, guardando as devidas diferenças e fazendo as necessárias aproximações. A metodologia empregada na aplicação e os materiais necessários à mesma estarão no capítulo 2. No capítulo 3, serão apresentados os resultados juntamente com as discussões dos mesmos, por se tratar de pesquisa qualitativa e

não de análise estatística de dados. Por fim, as conclusões possíveis com a pesquisa, bem como as perspectivas para o futuro, já que esta é apenas mais uma proposta de introdução de conceitos ligados à Física Moderna no Ensino Médio.

CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ensino de ciências, em particular, o de física, tem sofrido transformações ao longo do tempo. O que fica evidente com um olhar mais ou menos apurado, é o fato de essa evolução acompanhar de certa forma o que se entende por ciência em cada contexto histórico. A época revela quais procedimentos de análise são utilizados, bem como o entendimento de que forma um estudante captura e processa o que lhe é apresentado. Nesse sentido, um estudante do final do século XVIII, por exemplo, ao se deparar com um novo conceito, como os ligados à eletricidade, os absorvia de um modo diferente de um estudante atual, pois este está imerso numa tecnologia que só foi possível mediante os avanços causados pela evolução da mesma área. Esses e outros exemplos podem ser imaginados para ilustrar a necessidade imediata de uma mudança no currículo e na forma como são trabalhados os conteúdos da física em sala de aula.

O que se quer defender é a ampla relação entre a forma como se enxerga o trabalho científico e como a ciência é tratada na sala de aula (Villani, 2001). Partindo do pressuposto que, dentre as muitas vertentes epistemológicas sobre o que é ciência, se possa dividir essas visões em duas categorias, a saber empirismo ingênuo e racionalismo moderno (Lima, 2006), é possível traçar um comparativo entre as mesmas e características para cada nicho observado, a saber o trabalho científico e a sala de aula (Tabela 1). Respeitando as diferenças de objetivo em cada situação, bem como limitações na comparação feita, fica claro que o modo como se conduz uma aula de ciências, em particular de física, de certa forma é produto de como é encarado o desenvolvimento do trabalho científico. Uma aula baseada em uma visão de ciência mais humana e aberta a diálogos constantes pode contribuir para um aprendizado mais efetivo de teorias que em princípio podem parecer bem distantes do dia a dia dos estudantes.

Tabela 1: Comparativo entre visões filosóficas do trabalho científico e a sala de aula.

	VISÃO EMPIRISTA	VISÃO RACIONALISTA
TRABALHO CIENTÍFICO	Conhecimento científico descreve o mundo real	Nasce da crítica e reformulação de hipóteses, partindo de situações não explicadas pela teoria
	Experiência e observações são independentes da teoria	Reconhece que o consenso da comunidade científica tem um papel determinante na aceitação das teorias
	A evolução da ciência é cumulativa	Considera como fatores constitutivos da atividade científica aspectos filosóficos, culturais, éticos, religiosos, políticos, econômicos e tecnológicos
SALA DE AULA	Uso intensivo de livros ou manuais didáticos nos quais não é permitido aos estudantes intervirem	Livros servem de guia para discussões profundas e críticas a respeito de temas diversos
	Repetição de exercícios com fins de treinamento, com exemplos muitas vezes rasos e sem conexão com a realidade	Situações-problemas usadas como forma de alcançar um conhecimento mais crítico
	Aulas engessadas, pragmáticas, quase não permitindo o estabelecimento de marcos filosóficos, culturais, éticos, etc.	Aulas com tendência a desenvolver o lado crítico dos estudantes, fazendo conexões com situações reais, levando em consideração aspectos filosóficos, éticos, culturais, etc.

Adaptado de Lima (2006).

Um outro aspecto a ser observado, é que as propostas curriculares têm dado ênfase à questão do cotidiano como ponto de partida para um planejamento que leve o estudante a uma compreensão dos fenômenos que o rodeiam de modo mais efetivo, no âmbito da apropriação do conhecimento.

A visão adotada neste trabalho é a de que a ciência é uma forma de observar o mundo, associando ideias para a sua compreensão, mas não de forma estática. Teoria e experiência estão em constante diálogo, na medida em que os objetivos vão sendo delimitados de acordo com o avanço na direção de um entendimento cada vez mais complexo do mundo que nos cerca. Essa ideia está em contraponto à ideia empirista de que a análise pura e sistemática dos dados (observação) leva, ao final, a uma teoria sólida e consistente (Chalmers, 1993). A Tabela 1 com o quadro comparativo tentou demonstrar teoricamente esse aspecto.

1.1 – DA PRÁTICA CIENTÍFICA À SALA DE AULA

O conhecimento produzido pela ciência parece inalcançável, sob vários aspectos, para uma pessoa comum, o que talvez justifique o distanciamento da maioria das pessoas para questões ditas científicas, como se o mundo não fosse diretamente afetado pelas mesmas. A ciência está presente em cada conquista da humanidade e, embora algumas decisões tomadas ao longo do caminho possam ser controversas, a forma como se usa a ciência pode nos levar em certos momentos à beira da extinção, como também vir a catapultar o ser humano a um outro nível. Sem querer entrar no mérito da questão, o fato é que a ciência já faz parte da cultura humana e deve ser encarada como mais uma forma de interpretar o mundo.

Um dos papéis da escola é trazer essa ciência para o cotidiano dos estudantes, de modo crítico, para que possam transformar a sua realidade e a de outrem. Assim, o ensino de ciências, em particular o de física, deve estar pautado em uma visão coerente e capaz de fazê-los transpor o conhecimento do senso comum a um nível, por assim dizer, mais sofisticado.

Transpor o conhecimento produzido pelos cientistas para o espaço da escola e ao nível dos estudantes não é tarefa fácil. Adaptações devem ser feitas, mas ao mesmo tempo, deve-se manter as características do conhecimento original para não se passar uma visão equivocada do trabalho científico.

Todo conhecimento científico é produzido a partir de uma pergunta, um problema (Bachelard, 1996). A partir desse pressuposto, verifica-se, à luz do conhecimento vigente, hipóteses que possam dar conta do problema. Vez ou outra, as primeiras ideias são oriundas das antigas, como uma tentativa meio que inconsciente de salvar a velha teoria de uma possível falha. Porém, o avanço alcança um patamar tão alto que torna impossível blindar as velhas ideias e, com uma variação ou outra, novas ideias são propostas (Kuhn, 2003). Esse contexto é o chamado contexto das rupturas, que em Thomas Kuhn ganha o nome de revoluções e no âmbito da análise de Gaston Bachelard se revela como uma ruptura epistemológica.

Enquanto Thomas Kuhn defende sua tese no contexto do trabalho científico, evidenciando que o mesmo não tem o caráter desprovido de paixões como imaginado, Gaston Bachelard propõe a sua análise comparando a história das ideias científicas com situações encontradas em sala de aula. Sua defesa se concentra no papel do professor enquanto mediador entre o mundo da ciência e a educação científica, dando ênfase às dificuldades que surgem pelo simples ato de tentar conhecer algo. Assim como ocorre na ciência, ele destaca a superação de uma dificuldade quando é alcançado o aprendizado de algo que traz significado para quem aprendeu.

“Na educação, a noção de obstáculo pedagógico também é desconhecida. Acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda” (Bachelard, p. 23).

No trecho, é destacado o modo como dificuldades na apreensão de conteúdos científicos são tratados na sala de aula. Encontrando eco em autores como Silva e Penido (2013) e Delizoicov (s.d.), o assunto é objeto de pesquisa há décadas na área de ensino de ciências.

Se a ciência avança a partir de perguntas e problemas, por que então seu ensino parece tão distante dessa realidade? Novamente, volta-se à relação entre concepção de ciência e prática de ensino. Os autores citados acima defendem que o

ensino de ciências seja pautado na resolução de problemas, mas não entendendo os problemas como somente listas de exercícios ou coisa do tipo, e sim como problematização em sala de aula (Zylbersztajn, 1998).

O momento de problematizar um conteúdo em aula pode ser enriquecedor, tanto para estudantes quanto para professores. Bachelard (1996) e Freire (1977) associam esse aspecto a estágios do conhecimento, desde quando o aprendiz entra em contato com um novo questionamento e é levado pouco a pouco a uma análise cada vez mais profunda da situação. Isso permite o aumento do nível de consciência até a abstração, quando as ferramentas de análise podem ser aplicadas a problemas distintos. Dessa forma, se a realidade concreta, os fenômenos do cotidiano, são reavaliados pelo intelecto, "... por que não aceitaríamos considerar a abstração como procedimento normal e fecundo do espírito científico?" (Bachelard, 1996, p. 8).

O mesmo autor coloca a questão em três estados, que podem ser vistos no esquema abaixo.

Figura 1 – Estágios do conhecimento.



Extraído de Bachelard (1996).

No estado concreto, o estudante vai buscar conhecimento adquirido com o senso comum para explicar o problema. Nessa etapa, a linguagem não é científica, embora já se perceba uma tentativa de uso a partir do que foi lido ou do que teve

contato até aquele momento. Na medida em que mais provocações vão sendo feitas (papel do professor), há um incômodo pelo fato de que suas experiências não são suficientes na tarefa do entendimento do que lhe é apresentado. A interferência do professor aumenta a ponto de o estudante entrar em contato gradativamente com aspectos teóricos cada vez mais sofisticados. É o estado concreto-abstrato, quando há uma mistura das assertivas do senso comum com as estruturas abstratas. Quando o estudante ultrapassa essas imprecisões teóricas, já pode ser capaz de evocar imagens abstratas para não só explicar a situação-problema, como para estendê-la a outras situações.

A passagem de um estado para outro, embora pareça linear, na prática, requer bastante cuidado por parte do professor, pois vez ou outra, tem-se a volta ao estado denominado de concreto. Por isso, o encaminhamento das discussões torna-se crucial nessa abordagem.

Essa problematização inicial pode ter o caráter estritamente teórico ou experimental, ou ainda uma mistura de ambas. O que importa é levar o estudante a encontrar um caminho no qual possa usar ferramentas de pensamento para resolver um problema, tal qual faz um cientista ou grupo de cientistas. Isso pode levar a uma satisfação em aprender, na medida em que se percebe que a barreira da ignorância científica é transposta.

1.2 – O CARÁTER EXPERIMENTAL DA FÍSICA NA SALA DE AULA

Uma das características mais marcantes do trabalho científico é sua dimensão experimental. Com a fundação e desenvolvimento da Cultura Experimental nos séculos XVII, XVIII e XIX, a ciência passou a ser vista contemplando dois aspectos: Razão e Experiência (Barbosa, 2003). É a ciência fruto da razão pura ou da experiência direta com os fenômenos? Essa pergunta é o cerne do Racionalismo Clássico e do Empirismo Ingênuo, que teve nas figuras de Renè Descartes e Francis Bacon sistematizações bastante complexas do tema, o que contribuiu com discussões ao longo de quase três séculos, sempre colocando essas vertentes filosóficas em

constante conflito. Embora tenham surgido outras teorias epistemológicas, sempre se pode enquadrá-las em uma dessas duas categorias.

Nascidas no ambiente frutífero e revolucionário do surgimento da Física Moderna (Física Quântica e Teorias da Relatividade), novas propostas surgiram, na qual se destaca e será adotada aqui, a de Gaston Bachelard, trazendo a visão na qual o racionalismo e o empirismo dialogam constantemente na formação e desenvolvimento de uma teoria. Assim, “a relação abstrato-concreto estabelece uma correspondência entre pensamentos experimentais e os pensamentos algébricos” (Barbosa, 2003, p. 35). Isso garante uma multiplicidade de visões do que é real e da sua representação. Parece incoerente, mas essa pluralidade em sala de aula pode e deve ser explorada de maneira a permitir que os estudantes desenvolvam capacidades cognitivas mais complexas na resolução de problemas reais.

O próprio Bachelard, no entanto, chama a atenção para o problema que pode surgir numa aula experimental; o experimento em si pode se tornar mais importante que seu entendimento, ou seja, a experiência torna-se somente uma ferramenta para estimular os estudantes na sala de aula, não fazendo parte do método implicado na aula em si. Ele fala em explosões, barulhos e movimentos que carecem de sentido na prática pedagógica seguinte. A intenção do experimento perde-se ao longo da aula. Portanto, experimento e teoria, ensino e aprendizagem, devem estar ligados e fazem parte de um todo que leva a compreensão de algum fenômeno específico.

Assim, os estudantes devem ter acesso a que tipo de procedimento se adotará numa dada investigação. Bassoli (2014) discute as diferentes modalidades para as chamadas aulas práticas, a saber: demonstrações, experimentos ilustrativos, experimentos descritivos e experimentos investigativos. Na perspectiva do diálogo constante entre razão e experiência, este trabalho adotou a modalidade investigativa, entendendo que a mesma proporciona uma aproximação entre o conhecimento produzido/adquirido e quem o produz/adquire. Segundo Giordan (1999), baseado na psicanálise do erro de Bachelard, “uma experiência imune a falhas mimetiza a adesão do pensamento do sujeito sensibilizado ao que supõe ser a causa explicativa do fenômeno, em lugar de promover uma reflexão racionalizada”. O experimento investigativo permite essa reflexão contínua, garantindo a dialogicidade necessária, encontrando eco na teoria de Paulo Freire.

Embora aulas práticas investigativas visem à construção do conhecimento por parte dos estudantes (Andrade e Massabni, 2011), considerando a complexidade do processo de ensino e aprendizagem, uma atividade investigativa pode ter caráter demonstrativo, descritivo e ilustrativo ao mesmo tempo, fazendo com que se tornem ricamente frutíferas em seus objetivos iniciais.

CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

Como aproximar a ciência dos cientistas da ciência ensinada na sala de aula? É importante que fique claro que, por mais que aproximemos as duas esferas, parece impossível, sob todos os aspectos, reproduzir todas as características de uma investigação científica em momentos de aprendizagem, já que cada uma possui suas peculiaridades, com objetivos diferentes, o que nos remete à ideia da transposição didática. Nessa teoria se admite que o saber, quando é “transferido” de um nicho epistemológico para outro, sofre transformações que mudam seus *status*, conferindo-lhe novas características (Brockington e Pietrocola, 2005). Essas características devem ser levadas em consideração na elaboração de materiais didáticos e escolhas de atividades no ensino. Para os autores, ainda, é comum que haja uma confusão entre a ideia de transposição e simplificação, talvez uma das causas para a dificuldade no aprendizado de conteúdos científicos.

Dessa forma, toda proposta pedagógica deve possibilitar a relação entre o saber que é construído originalmente e o saber que ocorre na sala de aula. Estes dois se diferem, entretanto, daquele saber contido nos livros didáticos (Chevallard, 2013). Estes três ainda se distanciam um pouco mais do modo como o estudante o apreende, o que torna a tarefa de ensinar bastante complexa.

2.1 – PROBLEMATIZAÇÃO EM AÇÃO

Levando em consideração a lacuna entre conhecimento produzido e conhecimento ensinado, o trabalho em questão se baseou na proposta da problematização do conhecimento como forma de fomentar discussões em torno dos conteúdos. De acordo com Halmenschlager (2011) “a problematização é um aspecto essencial a ser contemplado no desenvolvimento de temas em sala de aula, pois a mesma pode potencializar o processo de ensino e aprendizagem, atribuindo maior sentido ao que é estudado” (p.2). Esse intuito pode ser atingido com o uso de textos

de divulgação científica, de caráter jornalístico, ferramentas como perguntas elaboradas especificamente para o conteúdo em questão ou a partir de situações reais e/ou problemas experimentais propostos em sala de aula. Em relação às perguntas, as mesmas não serão nos moldes de um questionário, mas podem vir durante as aulas, com a participação de todos, garantindo assim a equidade nas discussões.

A chamada Metodologia da Problematização, segundo Verona e Júnior (2009), compreende cinco etapas, sofrendo adaptações aos objetivos do trabalho aqui descrito:

a) Observação da realidade: é onde se define o problema a ser estudado. Nessa etapa, professor deve orientar mais de perto o trabalho, mantendo coerência com o objetivo principal que é a introdução de conceitos da Física Moderna;

b) Pontos-chave: através da reflexão contínua, separa-se o que é verdadeiramente importante no problema à luz dos conhecimentos disponíveis naquele momento para os estudantes. A ideia é usar basicamente os conhecimentos prévios dos estudantes;

c) Teorização: é a pesquisa de fato sobre o problema, em livros e outras fontes, onde o professor pode orientar, mas não dar respostas prontas aos estudantes. Pode sim estimular as atividades com textos de discussão, em algum momento podendo usar um pouco da História e Filosofia da Ciência para promover debates sobre as hipóteses que possam explicar o fenômeno em questão;

d) Testes de hipóteses: a participação do professor nessa etapa torna-se mais efetiva, já que os testes podem ser feitos associando-se experimentos de caráter investigativo com o intuito de relacionar os conceitos pesquisados e prever situações em princípio não contempladas pela teoria. Essa etapa difere da proposta descrita em Verona e Júnior (2009), pois o objeto de estudo aqui foi o fenômeno físico em si;

e) Aplicação à realidade: entender fenômenos do cotidiano, incluindo o funcionamento de aparelhos usando a teoria discutida conceitual e experimentalmente durante o processo.

Em resumo, pode-se entender o processo de problematização com base na Figura 2, mostrando a passagem da escolha do problema ao significado dado ao conhecimento em questão.

Figura 2 – Etapas da problematização em sala de aula.



Extraído de Verona e Junior (2009).

Deve ficar claro que todas as atividades propostas durante a aplicação do trabalho proporcionaram uma conversa com o conteúdo visto em sala, garantindo uma articulação entre o currículo e os objetivos da pesquisa descritos anteriormente.

Voltando à questão da problematização, a intenção foi gerar um conflito entre o que o estudante traz consigo e o que é aceito pela comunidade científica. Para Bachelard (1996), o ensino de Física (e ciências em geral) deve estar articulado com o conhecimento prévio do aluno, não se tratando, portanto, de uma nova aquisição de conhecimento sobreposto ao antigo, mas de uma transformação embasada progressivamente no que ele já sabe. Esse é ponto de tensão que deve ser destacado. Em suas próprias palavras: “..., o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo à espiritualização” (p.17).

O diferencial na metodologia foi associar o cotidiano escolar com ferramentas como listas de exercícios e avaliações formais a outras dimensões da aprendizagem, como seminários e debates, bem como a realização de experimentos que serão descritos posteriormente.

2.2 – PRIMEIRO MOMENTO: ORGANIZANDO AS AÇÕES FUTURAS

Como um primeiro momento, pensou-se em elaborar uma forma de diagnosticar o nível de conhecimento dos estudantes em relação à Astronomia, em particular, elementos ligados às estrelas e sua evolução. Peixoto e Kleinke (2016) fazem referência ao fato de que alguns conteúdos da área em questão despertam bastante interesse em estudantes, mas também apontam para a não inclusão dos mesmos nos currículos escolares, em desacordo com os documentos oficiais. Essa investigação inicial teve o objetivo de nortear os passos seguintes na estruturação da proposta, embora a mesma já tenha sido previamente elaborada.

Para isso, oito perguntas abertas foram elaboradas, algumas de resposta simples e direta, outras com o intuito de levar os estudantes a uma reflexão mais profunda. Os dados foram colhidos de quatro turmas da Terceira Série do Ensino Médio, duas do Colégio Estadual José Ferreira Pinto (CEJFP), e duas do Colégio Modelo Luís Eduardo Magalhães (CMLEM), ambas na cidade de Feira de Santana, Bahia. Na verdade, o autor aplicou o questionário em dez turmas, mas aleatoriamente, apenas quatro entraram na retirada das informações.

Em um total de 123 estudantes, as respostas foram as mais variadas, o que causou certa dificuldade na sua classificação. Como esperado, a maioria dos participantes não deu respostas satisfatórias sobre os temas propostos, incluindo muitos que deixaram em branco (essa opção foi dada pelo autor durante a aplicação). Abaixo, seguem as perguntas do levantamento de conhecimentos prévios

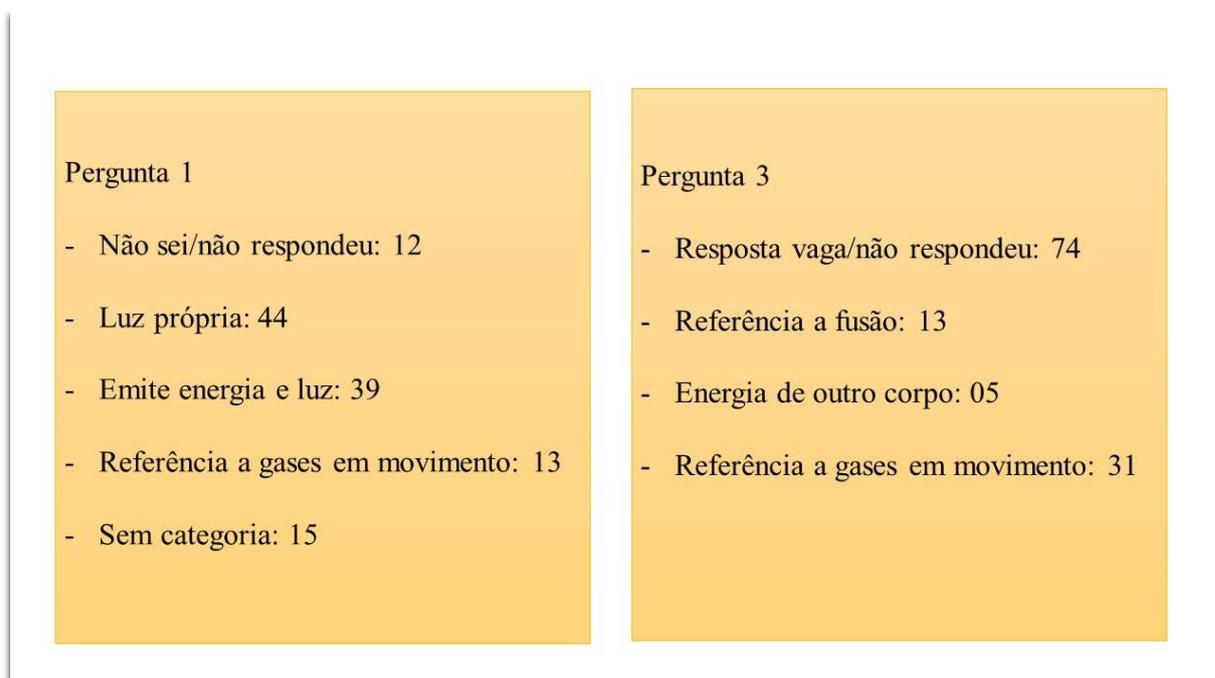
- 1- O que é uma estrela?
- 2- Você sabe quais métodos podem ser usados para se extrair a energia do núcleo de um átomo?
- 3- Como uma estrela, por exemplo o Sol, produz energia? Tente explicar o processo com base no que você conhece.
- 4- É possível reproduzir o mecanismo descrito acima na Terra? Explique.
- 5- Você já ouviu falar de espectro eletromagnético? Em caso afirmativo, descreva-o.
- 6- Para você, existe relação entre o estudo das radiações e o estudo da evolução estelar? Explique.

7- Em sua opinião, em que estudar a evolução estelar pode ajudar no desenvolvimento humano?

8- Qual elemento químico mais abundante no universo?

Foram escolhidas cinco das oito perguntas para se fazer uma análise, pois se tratam de perguntas mais diretas que não demandam tanta opinião. As figuras 3 e 4 apresentam esses resultados.

Figura 3 – Resultados do levantamento de conhecimentos prévios 1.



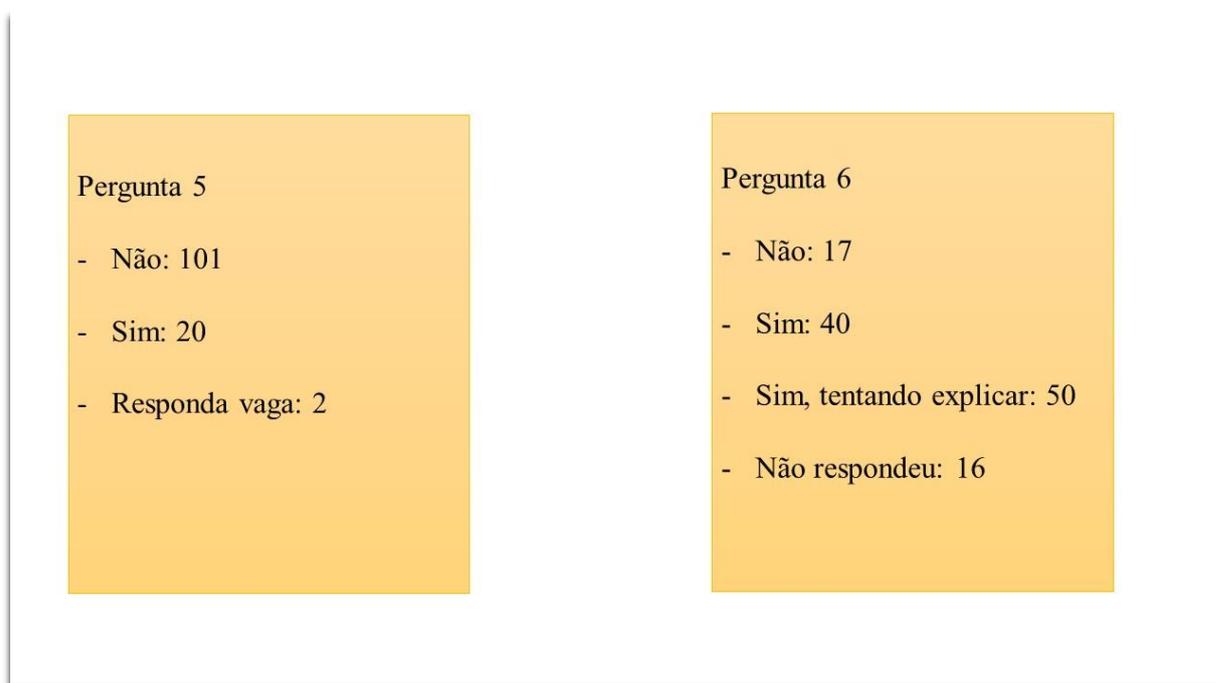
Fonte: O próprio autor.

Algumas respostas obtidas podem servir de referência para a compreensão dos resultados. Sobre a pergunta 1, por exemplo, um estudante respondeu: *“Estrela é um astro que tem luz e calor próprios”*. Outro ainda colocou: *“Estrelas são corpos celestes”*. Respostas como esta foram classificadas como não tendo categoria. Outra resposta foi: *“É um elemento composto por gases que produz luz própria”*. Ou ainda: *“É uma explosão de gases”*.

Sobre a pergunta 3, referente à produção de energia nas estrelas, a variedade de respostas não foi diferente: *“Como é composta de gases e massas a junção vira*

fogo e torna-se energia". Outra resposta: *"Um conjunto de reações químicas, que acabam produzindo energia refletindo também a luz"*. Respostas mais ou menos satisfatórias foram: *"Por menos da energia nuclear"*, sem maiores explicações. Uma das mais interessantes foi: *"Através da energia nuclear. No núcleo de uma estrela acontece queima de elementos químicos existentes ali, produzindo energia"*. Diante de um emaranhado de respostas confusas e sem nexo, a destacada acima se mostra bastante razoável.

Figura 4 – Resultados do levantamento de conhecimentos prévios 2.



Pergunta 8

- Certa: 33
- Errada: 81
- Não sei/não respondeu: 9

Fonte: O próprio autor

A maioria respondeu que não tinha ouvido falar sobre o espectro eletromagnético, pergunta 5, e aqueles que responderam sim, não foram capazes de descrevê-lo, como proposto.

Em relação à pergunta 6, sobre a relação entre o estudo das radiações e a Evolução Estelar, a maioria respondeu que havia relação, sendo uma parte das respostas tentou explicar. Exemplo: *“Sim, pois a estrela possui elementos radioativos”*. *“Sim. Pois as estrelas devem emitir partículas de carga positiva e negativa no seu desenvolvimento”*. *“Sim. A energia radioativa libera energia proveniente do núcleo assim como a estrela”*.

Os resultados não causaram surpresa, pois durante a vivência da sala de aula, os estudantes sempre expressam interesse pelos temas da Astronomia, mas de fato pouco conhecimento sobre o mesmo. Resultados que entram em consonância com Peixoto e Kleinke (2016) e Nardi (2010), trabalhos que mapeiam o interesse dos estudantes, mas ao mesmo tempo revelam a falta de inclusão nos currículos em ação nas escolas. Há um destaque, inclusive, para o fato de que os documentos oficiais não obrigam essa inclusão, sendo na verdade uma recomendação.

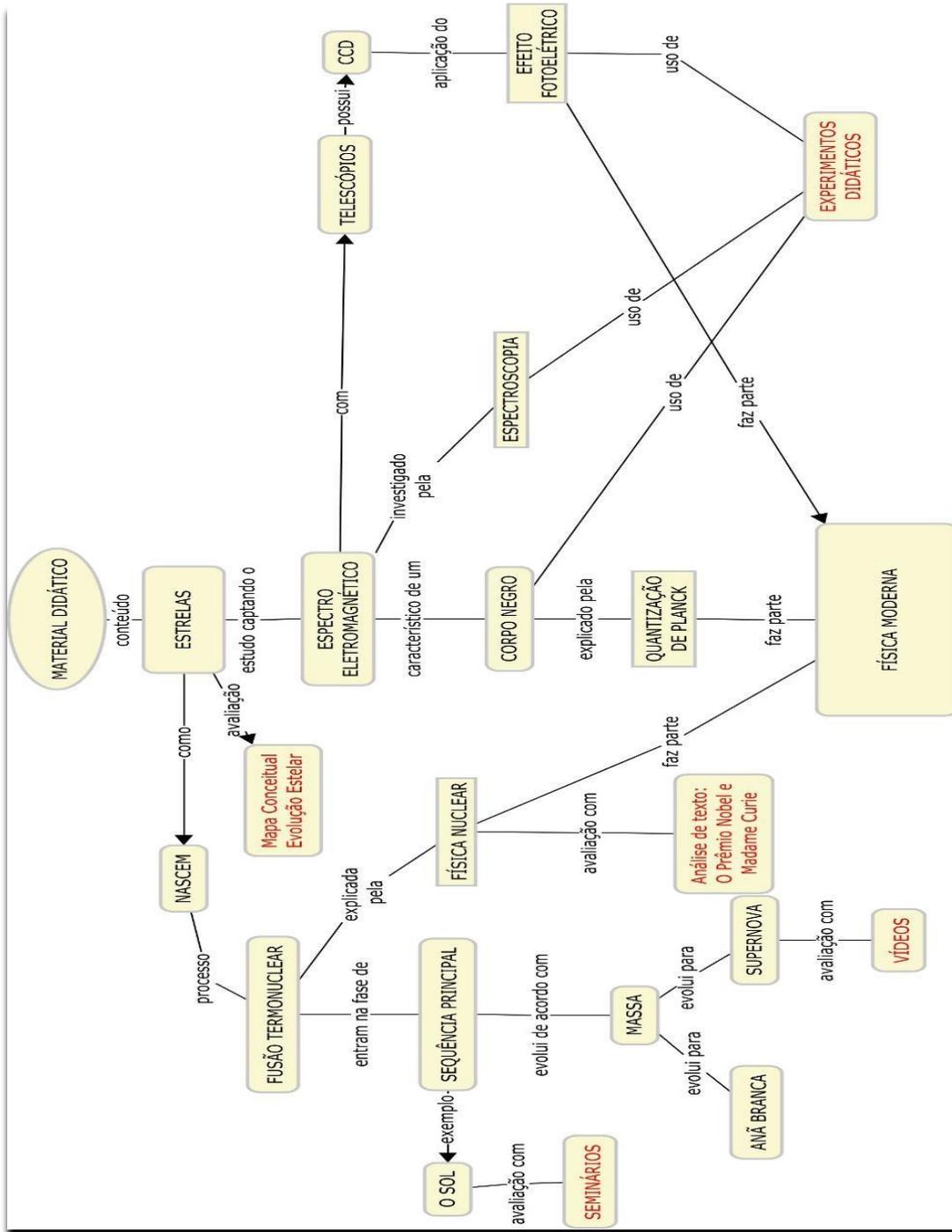
Os próximos passos foram montados seguindo a estrutura de usar como eixo a Evolução Estelar. Para a compreensão do conteúdo, é preciso conceitos desde os da Física Clássica, como Eletromagnetismo, Óptica, Gravitação Newtoniana etc., bem como conceitos da Física Moderna, como Radiação de Corpo Negro, Física Nuclear, Espectroscopia e Efeito Fotoelétrico.

Tabela 2: Conceitos para a compreensão da Evolução Estelar.

	CONCEITOS
FORMAÇÃO	Densidade, Gravitação, Termodinâmica, Campo Magnético, Pressão, Tempo, Massa.
EVOLUÇÃO	Densidade, Gravitação, Termodinâmica, Física Nuclear, Formação dos Elementos Químicos, Pressão, Massa.
MORTE	Densidade, Gravitação, Formação dos Elementos Químicos, Pressão, Massa.

A ideia foi permitir aos estudantes usarem seus conhecimentos adquiridos em séries anteriores durante as aulas, podendo ocasionar, na passagem de uma etapa para outra, o entendimento dos tópicos de Física Moderna. O mapa conceitual a seguir demonstra a visão geral do trabalho.

Figura 5 – Mapa Conceitual do projeto.



Fonte: O próprio autor.

2.3 – DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Na primeira etapa da intervenção, falou-se sobre Evolução Estelar, conteúdo teórico que foi ancorado em conceitos prévios e em uma metodologia de perguntas e respostas na introdução do mesmo. A intenção foi falar de Física Nuclear, pelo menos em seu aspecto mais conceitual e histórico, revelando que parte do entendimento dos cientistas sobre o processo de produção de energia em uma estrela foi impulsionado pelo estudo da estrutura atômica e nuclear. A sequência didática encontra-se no Apêndice 1.

Assim, os estudantes se interessaram bastante em conhecer mais sobre o Sol, sua estrutura e evolução. Depois da apresentação de um breve histórico, em três aulas foram levantadas questões sobre como o Sol produz energia e verificou-se que muitas das respostas dos estudantes se coadunam com as propostas por alguns pensadores ao longo dos séculos. Foram demonstrados cálculos provando que algumas propostas não condiziam com dados obtidos em outras áreas, como a diferença entre a idade da Terra e a idade do Sol, que foi calculada a partir de combustíveis que poderiam estar sendo queimados no mesmo.

O objetivo era seguir com as aulas, mas os próprios estudantes manifestaram interesse em buscar mais informações sobre o Sol, o que obrigou o professor a elaborar temas que poderiam ser apresentados em curtos seminários. Para os mesmos, os seguintes temas foram pensados:

- 1- O Sol visto por várias civilizações diferentes;
- 2- As constelações nas diferentes civilizações;
- 3- A importância do Sol para a vida na Terra;
- 4- Dispersão da luz: por que o céu é azul?
- 5- Comparando o Sol com outras estrelas;
- 6- Atmosfera do Sol: fotosfera, cromosfera, região de transição, vento solar;
- 7- Atividade solar: ciclo de 11 anos, erupções solares, efeitos na Terra.

Os temas 1 e 2 visam reforçar o aspecto histórico e filosófico, já que se referem à mitologia e cultura de diversos povos. O tema 3 pontua a importância do

Sol para o surgimento e manutenção da vida na Terra. O 4 se refere a uma curiosidade que tem uma base física, pois trata da luz e de suas características. O tema 5, comparando o Sol com outras estrelas, além da sua estrutura, pode ser abordado as dimensões das estrelas. Os temas 6 e 7 faz parte de um conteúdo que dificilmente os estudantes da educação básica tem oportunidade de discutir.

Além das apresentações, foi avaliado a confecção de cartazes pelos grupos.

Deve ser reiterado que o desenvolvimento do trabalho proporcionou a abordagem de temas relacionados à Evolução Estelar mantendo todas as características do cotidiano escolar, como avaliações e notas, integrando o máximo possível as atividades realizadas e o conteúdo comum da Terceira Série do Ensino Médio.

Na abordagem da Física Nuclear, depois de uma rápida sondagem, foi verificado que as duas turmas do Colégio Modelo Luís Eduardo Magalhães já haviam entrado em contato com o tema da Radioatividade na disciplina de Química até a metade do primeiro ciclo. Para esses estudantes, a próxima etapa foi adaptada para que não se repetisse o conteúdo. As demais turmas, do Colégio Estadual José Ferreira Pinto, foram expostas à próxima etapa com uma série de vídeos curtos, intitulados *Física Avançada: Física Nuclear*, nos quais em 6 episódios de 9 minutos é apresentado um histórico e alguns conceitos da Física Nuclear. As discussões foram encaminhadas a partir desses vídeos.

A justificativa para a introdução da Radioatividade é que a Física Nuclear tem origem quando os fenômenos ligados a essa área começarem a ser explorados, com as investigações de Roentgen e Becquerel. Como o objetivo não foi abordar especificamente o tema,

Uma das preocupações mais importantes foi fazer com que os estudantes se destacassem, ouvindo-os e levando atividades que os colocassem em situação de protagonismo. Surgiu a oportunidade, numa discussão em sala sobre aspectos fenomenológicos da Física Nuclear, de abordar a presença das mulheres, pela participação histórica de Madame Curie e Lise Meitner. Foi feita, assim, a análise de um texto abordando o preconceito sofrido por Marie Curie quando da época do Prêmio Nobel e o desdobramento foi uma rápida pesquisa por parte dos alunos sobre o tema “mulheres na Física Nuclear”, que ganhou uma proporção maior, na medida em que

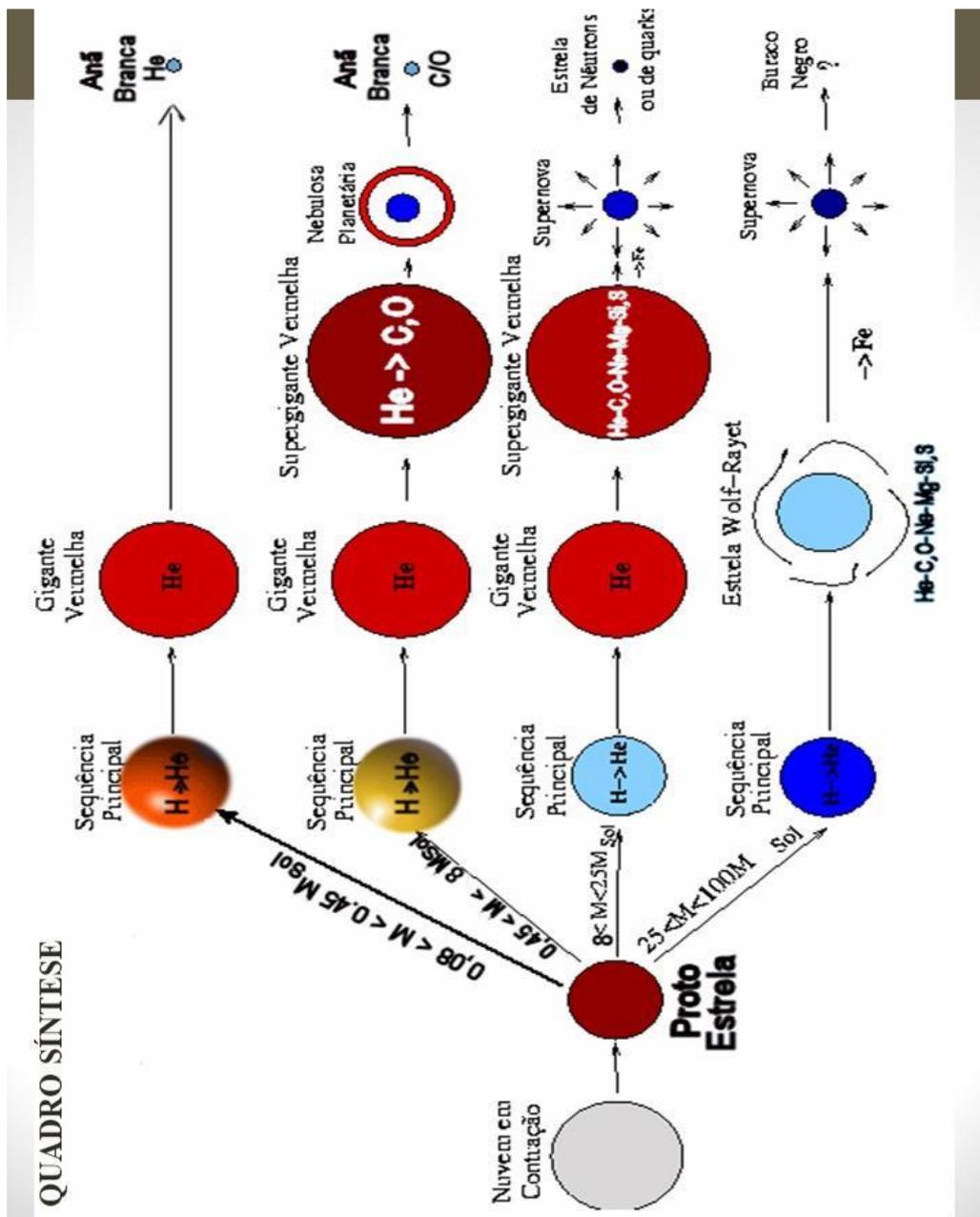
os alunos trouxeram aspectos da presença da mulher na ciência como um todo. Para isso foi recomendada a leitura de um artigo intitulado “*Questões de gênero na ciência e na educação científica: uma discussão centrada no Prêmio de Física de 1903*”, escrito por Marinês Domingues Cordeiro.

A etapa do trabalho que mais inspirou cuidado foi quando se introduziu as discussões sobre a evolução estelar de fato, com todos os termos técnicos e novidade do tema. Embora haja propostas para abordagem do tema Evolução Estelar, como Gregorio-Hetem (s.d.) e Silva (2017), por exemplo, materiais com os objetivos abordados na introdução não foram encontrados.

As aulas foram elaboradas mais ou menos em termos de perguntas e respostas e o conteúdo construído num crescente de complexidade. As aulas foram formatadas a partir de materiais de nível superior traduzidos em linguagem mais acessível. Foram usados *slides*, infográficos e sínteses para maior entendimento do assunto.

Os estudantes, após o processo, foram convidados a elaborarem seus próprios infográficos a partir do original na página seguinte (Figura 6), no intuito de verificar a compreensão deles sobre as etapas da evolução estelar.

Figura 6 – Infográfico da Evolução Estelar.



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas>

No ambiente escolar, a avaliação sempre se mostra a mais preocupante de toda a trajetória. Para o conteúdo comum, elaboram-se testes, provas, seminários etc. Mas como avaliar um conteúdo pouco abordado na sala de aula?

Foi elaborado uma espécie de Quadro-Avaliação (Apêndice 2) no qual os estudantes preencheram as etapas da evolução estelar, integrando-as a conteúdos da Física de anos anteriores, como na Tabela 2. Além disso, objetivou a síntese dos mesmos conforme sua compreensão. Esse quadro serviu de base para a construção de mapas conceituais com os quais o professor poderia verificar de que forma os estudantes estavam organizando o conhecimento discutido em sala de aula.

O uso desse recurso é bastante recorrente na pesquisa em Ensino de Física, de forma a poder proporcionar a organização de uma atividade ou mesmo como forma de avaliação, como discutido por Moreira (2013). Segundo o autor, a aprendizagem pode ser avaliada em três etapas: antes do processo, para se estabelecer marcos que possam nortear os trabalhos de intervenção; durante o processo, para se perceber a evolução da forma como o estudante vem compreendendo os novos conhecimentos; e no final, para se ter uma ideia de como o estudante capturou e entendeu todo o processo. Segundo o mesmo autor, por meio de um mapa conceitual, “o aluno externaliza como está organizando conceitos e relação entre conceitos de uma determinada área do conhecimento”. Como reflexo, isso pode caracterizar o estado cognitivo do estudante.

Apesar de o presente trabalho não ter pretendido investigar cognitivamente o estudante, pensou-se em introduzir nessa etapa os mapas conceituais por terem exatamente essa característica de organização discutida anteriormente.

Alguns participantes demonstraram certa dificuldade na elaboração dos mapas, mas verificou-se que a maioria conhecia relativamente bem a sua confecção, pois tinham certo hábito de elaborá-los em outras disciplinas. Alguns mapas produzidos serão mostrados no próximo capítulo.

Uma das etapas da Evolução Estelar é a supernova, que consiste no espalhamento violento de material no final da vida de estrelas de grande porte. O interesse dos alunos foi tão grande que pediram para o professor elaborar alguma atividade sobre o tema. Uma das turmas especificamente pediu para produzirem vídeos com o tema supernova. Originalmente, a produção de vídeos só viria na etapa dos experimentos. A postagem dos mesmos foi feita em páginas do Facebook que

cada turma abriu para a discussão de tarefas e acompanhamento das atividades propostas.

Figura 7 – Fotos dos grupos: 3 A do Colégio José Ferreira Pinto e 3 A do Colégio Modelo Luís Eduardo Magalhães.



Figura 8 – Fotos dos grupos: 3 B Colégio Estadual José Ferreira Pinto e 3 G Colégio Modelo Luís Eduardo Magalhães.



Abaixo, seguem algumas fotos dos vídeos postados nos grupos do Facebook nessa etapa.

A equipe do vídeo 1, Figura 9, fez uma narração em *off*, com imagens superpostas para explicar o conteúdo.

Figura 9 – Foto Vídeo 1.

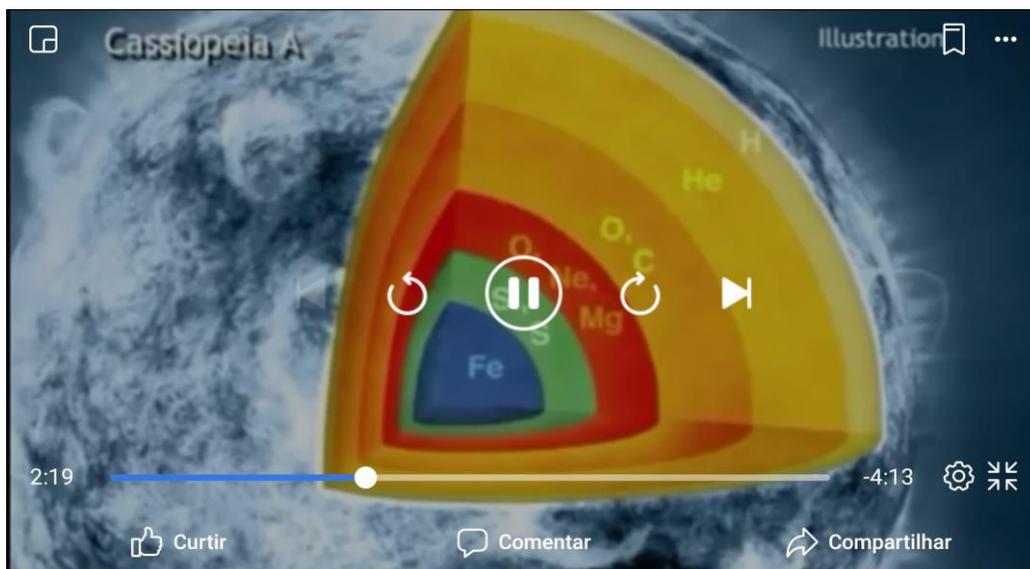


Figura 10 – Foto Vídeo 2.



A equipe da Figura 10 simulou um jornal com um plantão interrompendo a programação normal para falas das supernovas.

Figura 11 – Foto Vídeo 3.



Figura 12 – Foto Vídeo 4.

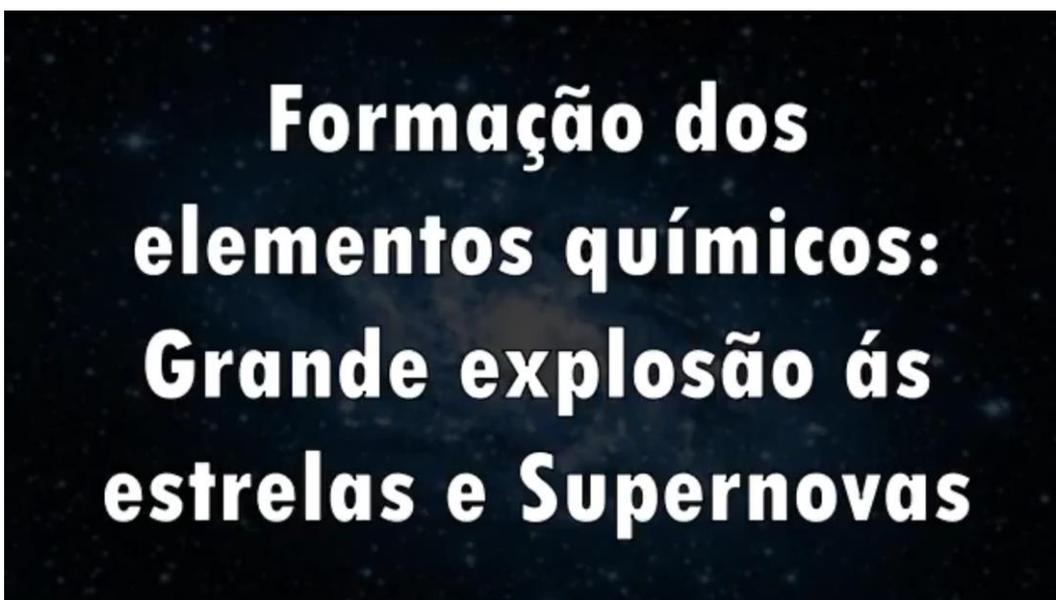
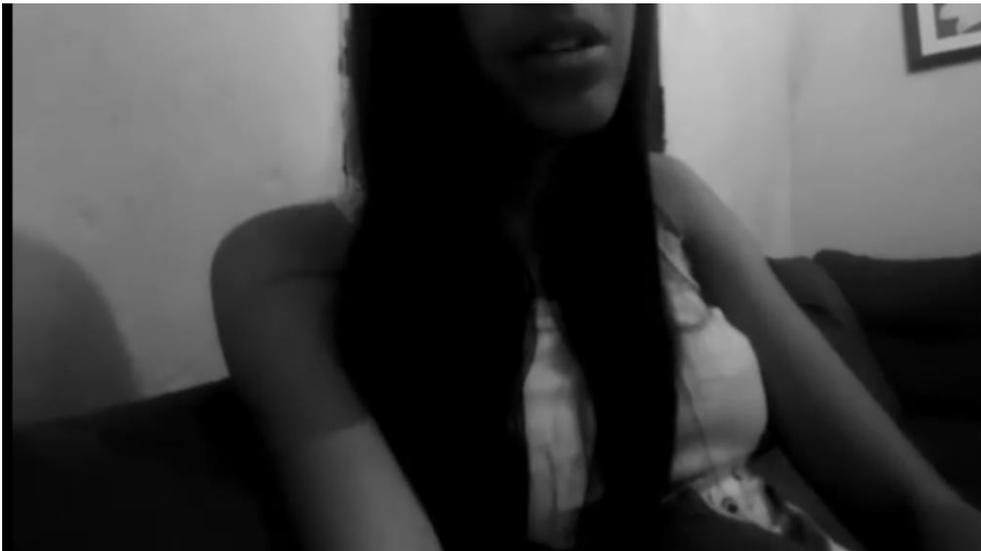


Figura 13 – Foto Vídeo 5.



Também foram feitos, por parte dos próprios estudantes, comentários *online*, nos quais todos participaram. A intenção foi promover debates em rede para que pudessem expor suas ideias iniciais sobre os assuntos de maneira livre, respeitando a opinião diversa e usando, sempre que necessário, os conhecimentos adquiridos em sala de aula. Muitos comentários foram extraídos de sítios da internet que abordavam os temas, como fica claro nas fotos abaixo.

Figura 14 – Comentários feitos dentro dos grupos.

Publicações

Adriano Santtos **Sirius Baham** 3ªA
18 de ago de 2017

**** A ESTRELA AMBÍGUA ****

Swift J1822.3-1606 é um tipo especial de estrela – conhecido como estrela de nêutrons – localizada a cerca de 20.000 anos-luz de distância, na constelação de Ophiuchus. Em geral, há três maneiras para uma estrela acabar a sua vida: como uma anã branca (quando ela é pequena como o nosso Sol), como uma estrela de nêutrons (quando ela é pelo menos 8 vezes mais massiva que o Sol) ou como um buraco negro (quando ela é ainda maior). Os dois últimos são formados após as maiores explosões conhecidas no universo – as supernovas. Existem dois tipos diferentes de estrelas de nêutrons: um magnetar (que tem os campos magnéticos mais fortes do universo), e um pulsar, que dispara feixes de radiação eletromagnética dos seus pólos (como um farol).

Durante anos, tudo o que sabíamos sobre

Escreva um comentário...

Pesquisar em Alphasô Estel...

SOBRE **DISCUSSÃO** EVENTOS ARQUIVOS F

Janildes Silva Pinho e outras 12 pessoas

Curtir Comentar Compartilhar

Igor Vinicius
18 de ago de 2017

Estrelas e constelações

A curiosidade sempre foi uma característica bastante peculiar aos seres humanos; o desejo por desvendar o desconhecido sempre foi sua motivação. Desde a antiguidade, os estudiosos empenham-se na busca por descobertas relativas ao universo, inclusive as estrelas; astro celeste que foi de extrema importância para diversos povos antigos.

Em relação as estrelas, esses povos descobriram que as mesmas formavam desenhos no céu, a partir dessa ideia surgiu o que se conhece hoje como constelação, ou

Pesquisar em Alphasô Estel...

SOBRE **DISCUSSÃO** EVENTOS ARQUIVOS F

Stefany Almeida
18 de ago de 2017

Quando se olha para um céu estrelado, é difícil acreditar que aqueles astros se originaram há milhões e bilhões de anos a partir de nuvens escuras de poeira cósmica e que, um dia, eles simplesmente morrerão - ou até já podem ter morrido. É isso que conta a professora Thais Idiart, do Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP). "As melhores condições para se formar estrelas são encontradas nas chamadas nuvens escuras, que podem ser de gás, de poeira ou moleculares". O tamanho dessas nuvens é da ordem de centenas de anos-luz e a temperatura no interior delas eq...

Continuar lendo

Janildes Silva Pinho e outras 6 pessoas

Curtir Comentar Compartilhar

A etapa seguinte do trabalho consistiu de duas abordagens diferentes: uma teórica-histórica e outra experimental. Na etapa conceitual, os estudantes foram levados, com o auxílio de textos diversos, a pensarem sobre os problemas que

culminaram com as mudanças conceituais ocorridas no início do século XX. Foi verdadeiramente a introdução das discussões sobre a ruptura com o advento da Física Quântica. O objetivo não foi mostrar os detalhes dessa nova teoria, mas sim balizar o conhecimento adquirido traçando um perfil sócio histórico sobre as condições com as quais ocorreram essas mudanças. Perguntas como: quais problemas levaram até aquele momento? Como os cientistas da época lidaram com o fato de que nenhuma teoria até então permitia uma compreensão correta dos fenômenos que desconcertavam a todos naquela época? Havia uma base experimental na qual se firmar na tentativa de revelar uma nova teoria?

Novamente, surgia a necessidade de se introduzir na sala de aula, mesmo que de forma bem rudimentar, aspectos gerais da natureza da ciência. Para isso, depois de uma rápida introdução da situação à época dessas ocorrências, foram usados dois textos: um de cunho epistemológico, abordando a relação entre teoria e experimento, intitulado “*É possível uma teoria de tudo?*” e outro de cunho histórico, onde aos estudantes foi apresentada a situação em que se encontrava os problemas na virada do século XIX para o século XX.

O primeiro texto fala sobre a unificação das forças fundamentais e as vantagens em se ter uma teoria unificada, além de outros pormenores sobre a ideia de campo em física. Depois de rápida discussão, os estudantes tiveram que responder à cinco perguntas sobre o texto e refletirem sobre o papel da experimentação em Física, ancorados pela entrega do Prêmio Nobel de 2017 para a equipe que detectou as ondas gravitacionais. Alguns alunos levaram para sala de aula exemplos de prêmios em que os ganhadores somente levaram por causa de comprovações experimentais.

O segundo texto, de título “*O início de uma moderna revolução*”, do físico Adilson de Oliveira, colunista da revista Ciência Hoje, abordava o problema que levou ao nascimento da Física Quântica, o problema do Corpo Negro. Além disso, trazia informações sobre o status da Europa em relação ao aço na Alemanha, com a necessidade em se ter fornos cada vez melhores para a obtenção de um material de boa qualidade. Havia diversos dados experimentais de ótima qualidade, mas faltava justamente uma teoria que pudesse prever aquele comportamento inusitado da curva de corpo negro. Foi dado aos estudantes tempo para que eles pesquisassem mais

profundamente sobre o tema, trazendo inclusive informações históricas para uma maior reflexão do assunto. As reflexões giraram em torno das seguintes indagações:

- a) O que é um corpo negro?
- b) Como se comportava a curva característica de um corpo negro?
- c) Quais eram as duas explicações na época para aquele comportamento?
- d) No que elas falharam?
- e) O que eles enquanto estudantes achavam sobre essa possível ruptura que estava prestes a acontecer?

Duas das turmas, nas quais o professor tinha duas aulas seguidas, foram encorajadas a pesquisarem sobre esses problemas na própria sala. Fizeram pesquisa em alguns *smartphones* e, depois de um tempo, compartilharam seus resultados com todos. Nos últimos trinta minutos de aula, o professor resumiu o conteúdo, sistematizando o que tinha surgido durante as discussões de forma a dar corpo a um conteúdo que tinha sido preparado de certa forma pelos próprios estudantes. Afora alguns contratempos pelo fato de os agentes envolvidos (alunos e professor) não estarem acostumados com esse tipo de abordagem, a metodologia funcionou relativamente bem, pois permitiu aos estudantes se sentirem participantes do processo. Nas outras turmas, a pesquisa aconteceu entre uma aula e outra, que foram ministradas em dias diferentes.

Foi pedido para que em grupos os estudantes fizessem uma pequena experiência sobre a radiação de corpo negro usando duas latinhas de refrigerante, uma pintada com tinta preta e a outra pintada com tinta branca ou outra cor clara. Aqueles que quisessem, poderiam verificar as temperaturas das latas usando um termômetro. A maioria dos grupos voltou na semana seguinte com resultados interessantes sobre o experimento.

Na aula seguinte, foram levados materiais de consulta para os estudantes que, somados aos livros didáticos, serviriam para uma sistematização de uma rápida pesquisa sobre Ondas Eletromagnéticas. Em grupos, os alunos organizaram o conteúdo e na aula seguinte apresentaram suas conclusões sobre o tema, elegendo um representante para a fala. Os grupos debateram sobre as características de uma onda, bem como os tipos de onda eletromagnética: Ondas de Rádio e TV, Micro-ondas, Infravermelho, Luz Visível, Ultravioleta, Raios-X e Raios Gama. Outras equipes

apresentaram as aplicações de cada uma delas nas diversas áreas, desde engenharia até a medicina.

Depois da apresentação do espectro eletromagnético aos estudantes e o resgate das características dessas ondas, foi usado em sala de aula um vídeo mostrando o Efeito Fotoelétrico usando um eletroscópio. Os alunos foram incentivados a refletirem sobre as possíveis explicações da descoberta. Às turmas que não tinham duas aulas seguidas foi passado o *link* do vídeo via aplicativo de mensagens para os líderes, que tiveram a incumbência de repassar aos demais colegas. Para garantir que todos tivessem acesso, foi postado nos respectivos grupos das turmas do Facebook.

O fato de a luz arrancar elétrons mesmo sendo uma onda foi encarado com naturalidade pela maioria dos estudantes, pois relataram que a mesma carregava energia, o que por si só era motivo razoável para tal ocorrência. Os próximos passos levaram aos problemas de inconsistência em relação às explicações da Teoria Eletromagnética para o que era observado experimentalmente. O que mais causou incômodo foi o fato de que a energia cinética dos elétrons não aumentava com a intensidade da luz incidente (nessa parte, o professor teve que fazer uma rápida digressão sobre Energia Mecânica). Muitas hipóteses foram sugeridas, como mudanças no ângulo de incidência da luz, dentre outras propostas interessantes. O enriquecedor dessa experiência foi ver os estudantes participando de debates acalorados em defesa de suas ideias, coisa muito pouco vista em sala de aula, pelo menos em questões ligadas à ciência.

Em aula posterior, foi apresentada a solução de Albert Einstein para esse problema, considerando a luz como sendo composta por pequenas partículas. O fenômeno era tratado como uma colisão entre fótons (partículas de luz) e elétrons, que eram ejetados do material. Mas, e quanto a energia desses elétrons? A pergunta foi respondida voltando-se à relação geral de Planck, que demonstra que os pacotes de energia dependem da frequência da luz e da constante que leva o seu nome. Dúvidas surgiram quanto ao fato de a luz ser onda ou partícula. O seu comportamento dual foi discutido e sintetizado com um texto do Prof. Dr. Adilson de Oliveira, publicado no sítio da revista *Ciência Hoje* intitulado “*Onda ou partícula? Uma questão de interpretação*”.

O conteúdo da Espectroscopia foi apresentado resgatando a discussão da Evolução Estelar com uma pergunta: Como os astrônomos podem conhecer as características de uma estrela, objetos tão distantes e inacessíveis diretamente aos seres humanos? Essa indagação permeou muitas das discussões feitas em aulas anteriores, causando inclusive certo ceticismo por parte de alguns estudantes, que viam nessa ciência mais especulação do que algo concreto. O desafio era mostrar que os métodos desenvolvidos na ciência, em particular na Astronomia, são poderosos o suficiente para nos permitir entender o funcionamento das coisas sem ter que manipulá-las diretamente.

A Espectroscopia ficou para ser descrita em último lugar porque o conteúdo integra praticamente todos os temas abordados anteriormente, desde a constituição de uma estrela até a sua cor e temperatura. Os espectros de emissão e absorção de uma fonte de luz permitem a análise de sua estrutura, pois se revelam como expressões únicas de seus constituintes. Em duas aulas o tema foi abordado levando em consideração aspectos históricos e conceituais, bem como o cotidiano dos estudantes. Identificaram situações nas quais poderiam observar os fenômenos, como a passagem da luz entre duas superfícies de vidro, mídias de CD e DVD funcionando como prismas, além da mudança de cor de uma chama quando sal de cozinha é aspergido (por exemplo) e a questão dos fogos de artifício coloridos.

A Classificação Espectral de Harvard (Tabela 3) para as estrelas foi apresentada como resultado dessas investigações. Os dados mostram a temperatura superficial, a classe espectral, características como a presença de certos elementos químicos e exemplos de estrelas em cada fase.

Tabela 3 – Classificação Espectral de Harvard para as estrelas.

Classe Espectral	Características	Temp. superficial	Exemplo
O	Hélio ionizado e metais; raias de hidrogênio de baixa intensidade	30.000	Mintaka
B	Hélio neutro, metais ionizados; raias de hidrogênio de alta intensidade	20.000	Rigel
A	Linhas (raias) de Balmer do Hidrogênio dominantes, metais fracamente ionizados	10.000	Sírius
F	Metais neutros e fracamente ionizados; raias de hidrogênio de baixa intensidade	7.000	Prócion
G	Cálcio fracamente ionizado e metais neutros; raias de hidrogênio de baixa intensidade	6.000	Capella
K	Metais neutros. Raias moleculares começam a aparecer.	4.000	Aldebaran
M	Raias de óxido de Titânio molecular dominantes; metais neutros	3.000	Betelgeuse

Temperatura em graus Kelvin ($K = ^\circ C + 273$).

Fonte: <http://www.zenite.nu/as-cores-das-estrelas/>

Essas aulas foram apresentadas com o uso de *slides* e os mesmos disponibilizados para que os estudantes pudessem ter acesso mais rápido e até mesmo ampliar o conteúdo.

Como forma de organizar as ideias, os estudantes responderam 5 perguntas, retiradas do livro *Física em Contextos*, do Maurício Pietrocola e outros. As mesmas estão listadas abaixo:

- 1- Qual a diferença na obtenção de espectros de emissão contínuos e espectros de emissão discretos?
- 2- Quais são as características de um espectro de emissão discreto?
- 3- Como são gerados os espectros de absorção?
- 4- Como se pode distinguir um espectro de emissão discreto de um espectro de absorção?
- 5- Comente a importância das investigações de Joseph von Fraunhofer, Gustav Kirchhoff e Robert Bunsen para a compreensão da composição química e das propriedades físicas dos astros celestes.

As respostas dadas a estas perguntas não foram analisadas, a não ser para motivar as discussões posteriores.

Uma das etapas mais importantes e esperadas da pesquisa foi a aplicação de experimentos ligados diretamente aos conteúdos abordados anteriormente de forma teórica e histórica. Seguindo a linha de problematização inicial e fazendo com que os sujeitos da ação se tornassem protagonistas, em grupos, aos estudantes foi apresentada uma lista de experimentos, onde deveriam, a partir da mesma, discutir as ideias por trás de cada um, sob a supervisão do professor. Em seguida, foi feito um rápido sorteio em que os temas foram distribuídos para cada grupo, que tiveram algumas semanas para a confecção dos experimentos, bem como a produção de relatórios para a apreciação do professor.

a) Experimento 1- Efeito fotoelétrico

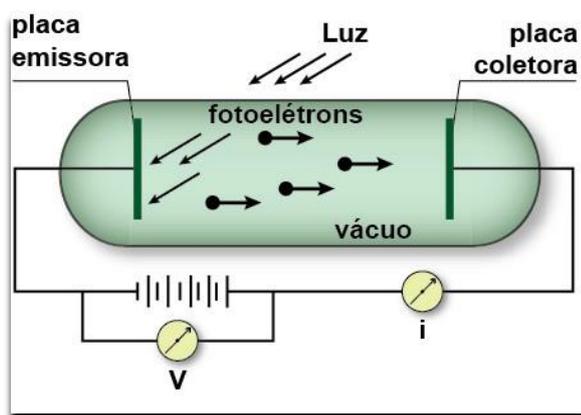
Consiste numa montagem simples com uma placa fotoelétrica de calculadora solar e um *led*. Quando há incidência de luz, o *led* acende.

Diante da dificuldade de se reproduzir o efeito fotoelétrico, o experimento acima foi pensado para exemplificá-lo, tomando o cuidado para não descaracterizar o fenômeno original. O efeito fotoelétrico consiste em arrancar os elétrons por meio da incidência de luz com certa frequência. Tratando a luz como sendo composta por fótons, estes colidem nos elétrons de camadas mais externas de um metal, podendo ser captados por um sensor, por exemplo.

No caso do experimento proposto aos estudantes, pelo fato de ser usada uma placa solar, o efeito é conhecido como fotovoltaico que, segundo Silva *et. al.* (2017), possui semelhança com o efeito fotoelétrico. Ambos usam a luz para fazer os elétrons se deslocarem, sendo que o fotoelétrico é um fenômeno externo e o fotovoltaico é interno.

A Figura 15, abaixo, representa de forma simples o efeito fotoelétrico. A luz incide sobre uma placa metálica (emissora), arrancando elétrons, que se deslocam na direção da placa coletora. Nesse momento, se estabelece uma corrente elétrica.

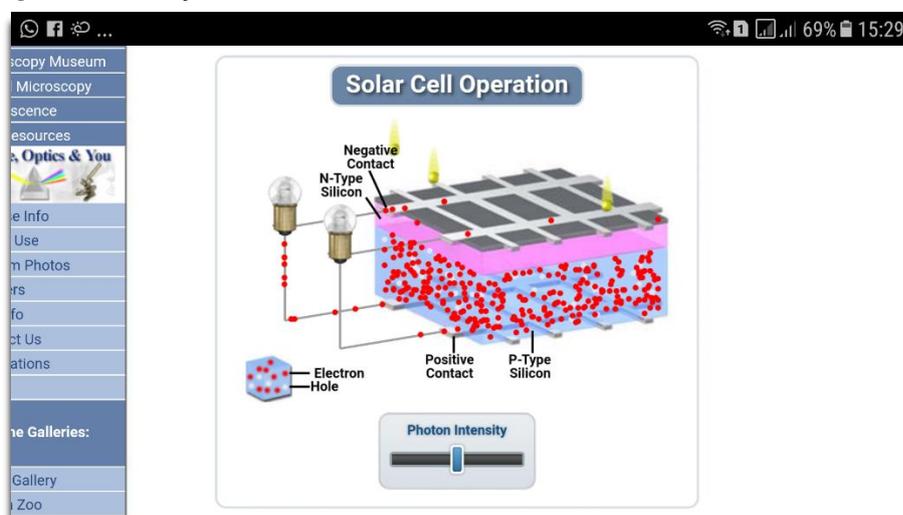
Figura 15 - Efeito fotoelétrico.



Fonte: <https://medium.com/@eltonwade/cap%C3%ADtulo-3-efeito-fotoel%C3%A9trico-3de7f9fd9416>

Em uma placa solar comum, por exemplo, dois materiais semicondutores são colocados em contato, um com excesso de elétrons, o outro com excesso de prótons, formando o que se chama de junção *pn*. Após um fluxo inicial de elétrons, há uma estabilidade, criando-se um campo elétrico nessa região que separa as duas placas. Quando há incidência de luz com certa frequência na junção, os fótons fornecem energia aos elétrons que não conseguiam ultrapassar a barreira, os mesmos se deslocando até um circuito elétrico externo, fazendo acionar algum dispositivo acoplado. A figura abaixo demonstra o efeito através de um simulador *online* no endereço <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/solarcell/index.html>

Figura 16 - Simulação do Efeito Fotovoltaico em células solares convencionais.



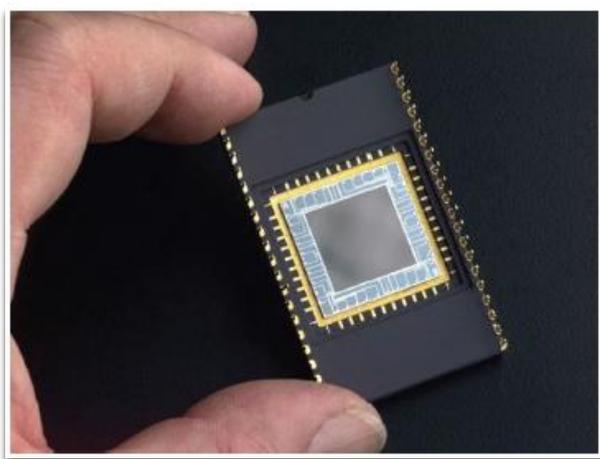
Nesse sentido, o experimento não se configura no efeito fotoelétrico de fato, mas levando em consideração o que ocorre na junção, com a transferência de fótons arrancando os elétrons, a proposta foi feita com o objetivo de ilustrar o fenômeno.

b) Experimento 2- Efeito Fotoelétrico - Fotografia com câmera digital

Foi disponibilizado o link do artigo “ASTRONOMIA E FÍSICA MODERNA: DUAS NECESSIDADES, UMA SOLUÇÃO”, onde os estudantes deveriam estudar e desenvolver o experimento descrito na seção Lei de Hubble e o Efeito Fotoelétrico – da página 2 até a página 5. Consiste no uso de uma câmera profissional ou semiprofissional para captar a imagem de um objeto localizado em ambiente escuro ou de pouca luminosidade. Para isso, a câmera deve ser manipulada, mudando sua ISO e tempo de exposição para melhorar a qualidade da imagem. O objetivo principal foi discutir o método que permite aos astrônomos a captação de imagens de objetos distantes, como planetas e principalmente estrelas.

Um sensor de imagem do tipo CCD (dispositivo de carga acoplada), de um modo geral, produz sinal elétrico a partir de uma imagem óptica. Sua estrutura é composta por uma matriz de sensores fotoelétricos semicondutores, formando, cada um, elemento chamado de *pixel*. Cada *pixel*, por sua vez, ao receber fótons de luz, libera elétrons, produzindo corrente elétrica e uma diferença de potencial. Um sistema capta esse sinal elétrico, que é mais forte quanto mais fótons atingem os *pixels*, armazenando os dados digitalmente. Grosso modo, tem-se uma imagem digital.

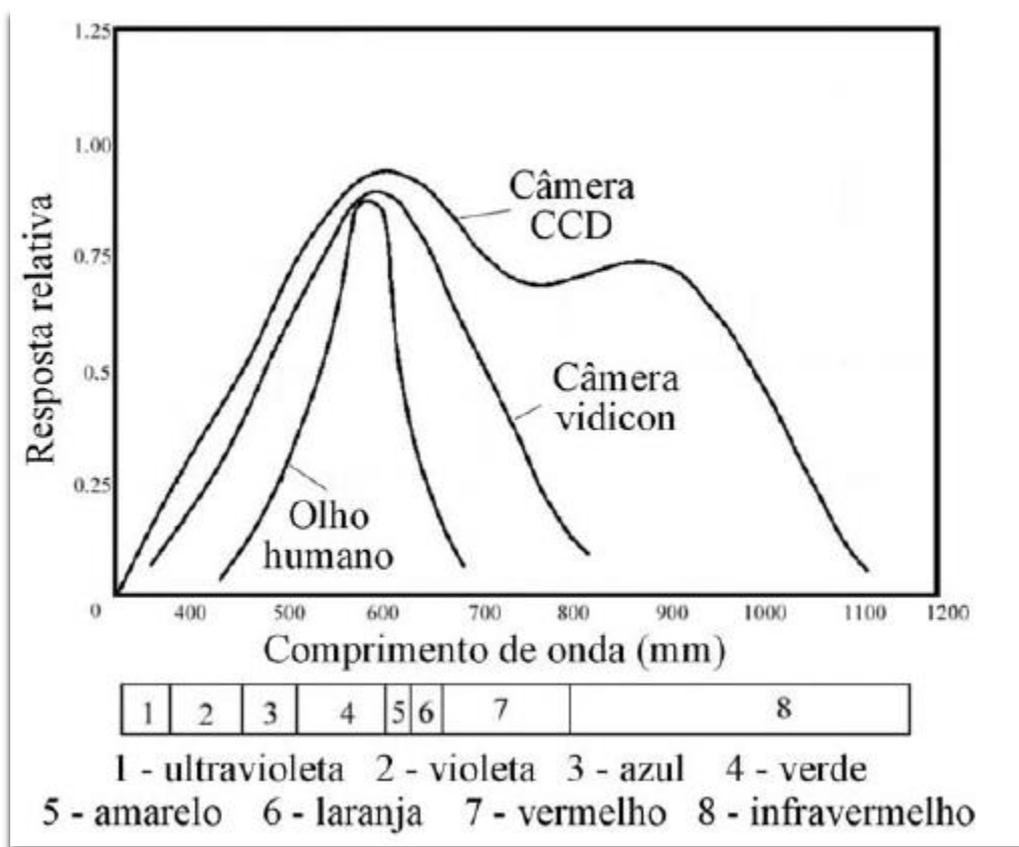
Figura 17 – Dispositivo de Carga Acoplada (CCD).



Fonte: Capozzoli *et. al.*(2011).

A intenção é verificar as limitações do olho humano na observação astronômica, pois que, com esse tipo de tecnologia, é permitida a captação de imagens de objetos distantes e, portanto, muito fracos para serem captados de forma convencional. Bem como proporcionar, assim como no experimento anterior, guardadas as devidas proporções, a discussão de aspectos importantes do efeito fotoelétrico.

Figura 18 - Comparando a visão humana com a visão artificial.



Fonte: Carvalho *et. al* (2003).

A comparação feita na figura acima permite o entendimento da importância do advento das câmeras digitais para a Astronomia, uma revolução que de certa forma aumentou muito nossa perspectiva do Universo.

c) Experimento 3- Corpo Negro

1) Experimento sobre as temperaturas: investigação da variação de temperaturas obtidas aquecendo duas latas de alumínio, uma pintada com tinta preta, outra com tinta branca. Para isso, foi usado um termômetro e uma fonte de luz intensa.

2) Artigo sobre fotografia do céu e as cores das estrelas “ASTRONOMIA E FÍSICA MODERNA: DUAS NECESSIDADES, UMA SOLUÇÃO”. Estudar e desenvolver o experimento descrito na seção A Lei da Radiação de Planck e as temperaturas das estrelas – da página 6 até a página 10. Fotografar o céu noturno com uma câmera digital (se possível profissional ou semiprofissional), mudando a ISO e o tempo de exposição em cada situação.

d) Experimento 4- Espectroscópio

Montagem de um espectroscópio caseiro, se possível de modelos diferentes, para a investigação qualitativa de espectros emitidos por diversas fontes.

Para todos os experimentos, as equipes foram levadas a produzir vídeos para serem postados nos respectivos grupos, com duração máxima de 10 minutos, contendo a montagem, bem como as explicações para cada fenômeno observado, fazendo uma relação direta com suas aplicações em Astronomia, em particular, a observação de estrelas.

Para o experimento 1 sobre o efeito fotoelétrico, além de montarem e fazerem os vídeos, como forma de orientar a atividade e aumentar sua compreensão sobre o tema, foi pedido para que lessem um texto intitulado “*Detectores de Luz: Das primeiras câmeras aos CCD*”, adaptado de Picazzio *et.al.* (2011). A partir do texto, responderam às questões abaixo, posteriormente entregues ao professor.

1- Qual era o grande problema que permanecia mesmo com a utilização dos telescópios para observações astronômicas?

2- Quais características do olho humano o torna um bom detector?

3- Procure explicar o fato do olho humano ter mais sensibilidade na região espectral do amarelo.

- 4- O que é eficiência quântica?
- 5- Podemos fazer a seguinte analogia: comparar o olho humano a uma câmera fotográfica. Explique, em detalhes, a analogia, deixando claro também suas limitações.
- 6- No que consiste a fotometria? De que modo essa técnica revolucionou as observações astronômicas?
- 7- Como funcionam os CCD?
- 8- Faça um resumo de como os CCD foram substituindo as técnicas fotográficas comuns.
- 9- Quais as vantagens dos CCD em relação às técnicas fotográficas?
- 10- Individualmente, faça um Mapa Conceitual sobre a compreensão do texto que acabou de ler.

Para os experimentos 2 e 3, as seguintes recomendações foram dadas:

- As equipes deverão buscar formas de aumentar o tempo de exposição numa fotografia, que pode ser feito tanto em câmeras profissionais e semiprofissionais, quanto em digitais comuns e até nas de *smartphones*. Uma rápida pesquisa na internet mostra várias maneiras para se chegar a esse objetivo;
- No caso de câmeras profissionais e semiprofissionais, a tarefa é relativamente mais simples, por isso, é recomendado que as equipes busquem esse tipo de câmera para a tarefa. Se houver dificuldade, podem usar câmeras comuns ou de *smartphones* como dito acima;
- Para *smartphones*, provavelmente será necessário o uso de aplicativos específicos para isso. Novamente, rápida pesquisa indica uma série de “programinhas”, de preferência gratuitos;
- Diferente dos outros, esses experimentos não possuem um produto físico final, a não ser as fotografias. Por isso, deve ser elaborado um relatório contendo os itens abaixo:

Sobre os relatórios, algumas recomendações foram dadas aos estudantes:

Experimento 2- O relatório deve conter aspectos de como os astrônomos observam o céu. Quais técnicas e instrumentos usam? Como funcionam esses aparelhos? Por conta disso, deve falar sobre o histórico dos instrumentos de

observação do céu, bem como sobre o funcionamento desses aparelhos, como câmaras CCD, etc. Em anexo, devem colocar as fotografias tiradas e detalhes sobre como obtiveram as mesmas.

Experimento 3- O relatório deve conter, além dos aspectos sobre os instrumentos de observação astronômica, como o experimento é tirar fotografias do céu noturno mudando tempo de exposição das imagens na tentativa de identificar as cores dos objetos astronômicos observados, também devem ser inseridas discussões acerca da relação entre as cores observadas e as temperaturas. Associar com a Radiação de Corpo Negro e como essa teoria ajuda os astrônomos entender o universo, em particular as estrelas. Assim como o experimento 2, em anexo devem ser colocadas as fotografias tiradas durante a tarefa.

Em relação ao experimento 4, além da construção do espectroscópio, os grupos deveriam fazer as observações e preencherem a tabela abaixo, elaborada a partir de Pietrocola et. al. (2010):

Tabela 4 - Para preenchimento de espectros de diversas fontes.

FONTE DE LUZ	TIPO DE ESPECTRO (CONTÍNUO OU DISCRETO)	REPRESENTAÇÃO DO ESPECTRO OBSERVADO	CORES QUE SE DESTACAM
VELA			

LÂMPADA INCANDESCENTE			
LÂMPADA FLUORESCENTE			
LÂMPADA DE LED			
LÂMPADA DE LUZ NEGRA			
SOL (CUIDADO! NÃO DIRETAMENTE)			

Obs.: Na parte da representação do espectro observado, pode ser feito um desenho do espectro ou uma fotografia do mesmo, contanto que o recorte caiba no local da tabela

Todos os estudantes foram incentivados a participarem efetivamente de cada etapa, com a incorporação da avaliação à rotina das aulas. Os resultados obtidos e a discussão se encontram no próximo capítulo.

CAPÍTULO 3 - RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir, bem como sua discussão, deve seguir a ordem apresentada no capítulo anterior, já que foi a mesma adotada durante a aplicação da pesquisa. Dessa maneira, será demonstrado que a partir de cada etapa, os estudantes alcançaram um nível diferente de compreensão dos aspectos pretendidos com os objetivos iniciais, adquirindo avanços significativos em relação ao todo do trabalho. Serão apresentados fotografias de algumas atividades realizadas e comentários em relação à aspectos motivacionais, como a questão se os estudantes envolvidos estavam de fato engajados na sua execução. Não há dados quantitativos, embora para cada proposta tenha sido atribuída uma nota, em consonância com o fato de que a pesquisa foi incorporada às atividades corriqueiras da disciplina de Física, como provas e testes formais.

3.1- EVOLUÇÃO ESTELAR

Como dito em outro momento, esse conteúdo é bastante teórico. Pensou-se inicialmente no uso de simulações computacionais para a ilustração sobre a origem de uma estrela bem como sua evolução, mas diante da dificuldade da falta de computadores nas escolas, essa ideia foi descartada, aparecendo a necessidade de se problematizar na sala de aula. O cálculo da quantidade de energia que o Sol produz a partir da equação de Einstein demonstrou a dificuldade que a maioria dos estudantes têm em relação a conceitos e métodos básicos da matemática, como regra de três. O que foi pensado para ser executado em pouco tempo, em algumas turmas durou mais do que o esperado, mas no fim, após verem a aplicabilidade do método, mesmo em um único contexto, percebeu-se que o objetivo ilustrativo foi alcançado.

Na introdução da Física Nuclear, houve grande participação por conta do uso dos vídeos que resumiram de forma bastante simples e divertida os aspectos gerais da teoria. Após a discussão sobre a presença das mulheres, os seminários pedidos pelos próprios estudantes foram apresentados com a confecção de cartazes diversos. Durante as apresentações verificou-se grande volume de informações trazidas,

permitindo assim discussões mais ricas durante o processo. Abaixo, seguem algumas fotografias das apresentações e dos cartazes.

Figura 19 - Equipe CMLEM – Importância do Sol.



Figura 20 - Equipe CMLEM – Constelações.



Figura 21 - Equipe CMLEM – Atmosfera Solar.



Figura 22 - Equipe CMLEM – O Sol visto por civilizações diferentes 1.



Figura 23 - Equipe CMLEM – Comparando o Sol com outras estrelas.



Figura 24 - Equipe CMLEM – O Sol visto por civilizações diferentes 2.



Figura 25 - Equipe CEJFP – Atmosfera Solar.



Em particular, a última equipe, Figura 25, do Colégio Estadual José Ferreira Pinto, além de apresentar o cartaz, fazendo parte da avaliação, produziu um modelo em isopor mostrando a estrutura interna do Sol.

Depois da etapa de discutir a Evolução Estelar com o auxílio do infográfico da página 25, a avaliação foi feita com o preenchimento da tabela no Apêndice 2. Apesar das discussões em sala, esse momento foi onde houve mais interferência por parte do professor, pela complexidade descrita acima. A fascinação pelo tema, algo tão distante de suas vidas e ao mesmo tempo capaz de provocar certo desconforto com revelações como a de que os elementos químicos são sintetizados nas estrelas, fez desse momento, que poderia ter sido o menos agradável, um dos mais prolíficos dessa primeira etapa.

Logo depois, como relatado, os estudantes fizeram mapas conceituais do seu entendimento acerca do conteúdo, dois deles, figuras 26 e 27, apresentados abaixo.

O da Figura 27 estrutura o seu mapa de forma um pouco confusa, ao que parece, dando destaque à fase de supernova.

Mesmo levando em consideração a tese de que não há mapa conceitual errado, notou-se que alguns estudantes tiveram dificuldade em elaborar seus mapas, ou pela não compreensão correta do conteúdo ou por não se sentirem à vontade na construção dos próprios mapas. Desde já, faltou um trabalho mais efetivo por parte do professor na explicação do que é um mapa conceitual e para que serve. Mas como primeiro contato de todos com um tema tão complexo, a metodologia aplicada foi positiva, como relatos orais feitos em sala após essa etapa.

3.2 - EXPERIMENTOS

Seguindo a ordem do trabalho, as discussões teóricas em sala ou com o auxílio de *slides*, ou mesmo com o formato de aulas expositivas (problematizadoras) e participação intensa dos estudantes, foram encaminhadas de modo frutífero, por se tratar de temas nunca vistos pela maioria. O uso de textos (nos anexos) retirados de sítios de divulgação científica ou adaptados de livros diversos reforçaram o que era desenvolvido em aula e surgiram como um modo de sedimentar e formalizar as discussões, em última instância, também permitindo aos estudantes terem um material para posterior consulta. Toda essa etapa introdutória teve como objetivo a preparação para a confecção dos experimentos e produção dos vídeos.

Em cada turma, uma equipe ficou encarregada do experimento 1, o efeito fotoelétrico usando uma placa de calculadora solar e *led*. A montagem do experimento era bem simples, mas o que se mostrou complicado foi encontrar uma calculadora solar para sua execução. As calculadoras encontradas pelas equipes não usavam placas solares verdadeiras, aparecendo um entrave que causou frustração nas equipes envolvidas. Foram incentivadas a procurarem soluções, o que demandou pesquisa e tempo, enquanto as outras equipes desenvolviam suas atividades dentro dos prazos estabelecidos. Duas das equipes, quase que ao mesmo tempo, encontraram a solução na substituição da placa solar por um fotorresistor, tipo LDR, encontrado facilmente em lojas de peças eletrônicas e de baixo custo. Abaixo, observa-se a foto da montagem de uma das equipes.

Figura 28 – Montagem com o fotorresistor.



A montagem simples do equipamento faz com que o fotorresistor, por ter uma resistência bastante alta, não permita a passagem de corrente elétrica para alimentar o *led*. Quando da incidência da luz vinda de uma fonte, a resistência diminui, fazendo com que o *led* acenda.

Fonte: Relatório da equipe

Uma outra equipe, em particular, resolveu elaborar um protótipo de poste de iluminação, como visto na foto. Sua pesquisa se mostrou intensa, revelando a seriedade com que encararam o trabalho, o que deixou as outras equipes bastante admiradas no dia da apresentação.

Figura 29 – Equipamento simulando um poste de iluminação pública.



As imagens acima mostram que a equipe usou um relé de poste de iluminação para simular justamente o que o mesmo faz: quando não há incidência de luz, o fotorresistor não bloqueia a passagem de corrente e uma lâmpada acoplada em um

bocal se acende. Quando se coloca o sensor próximo a uma fonte, como uma lâmpada comum, por exemplo, a lâmpada apaga depois de uns minutos.

As equipes que ficaram com o experimento 2, sobre a aquisição de fotos de objetos quaisquer em ambientes pouco iluminados, elaboraram um relatório contemplando os itens descritos no capítulo anterior e incorporaram as respectivas fotografias aos mesmos, mostradas logo abaixo.

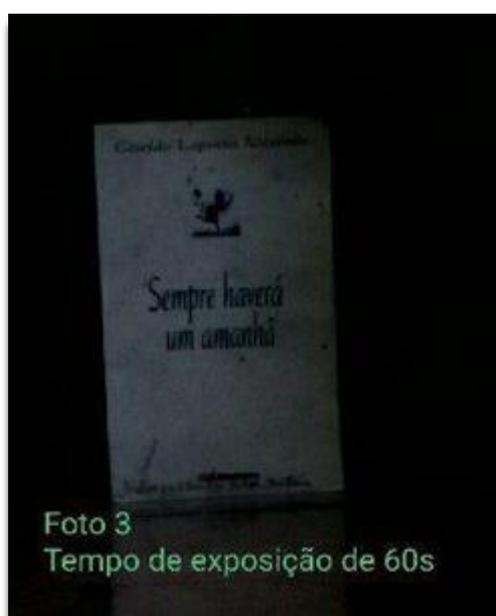
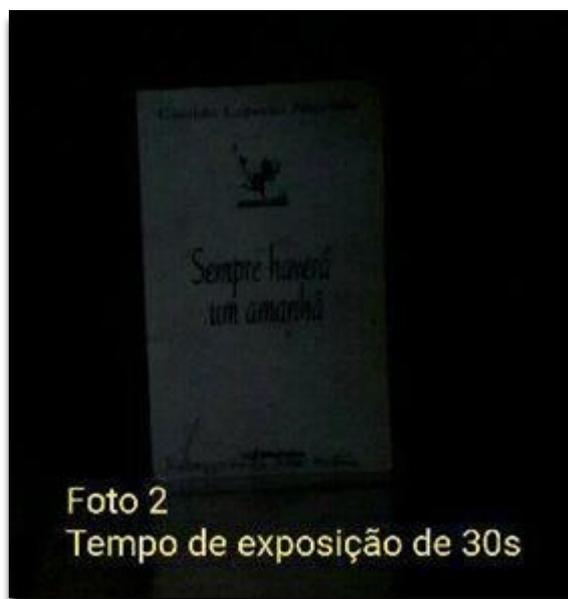
Figura 30 – Imagens obtidas com tempos de exposição diferentes 1 – Colégio Estadual José Ferreira Pinto.



Fonte: Relatório da equipe.

Essas duas fotos foram obtidas com um *smartphone*, utilizando um aplicativo gratuito que controla o tempo de exposição da câmera, chamado FV-5, embora não seja permitido escolher de fato o tempo para cada fotografia, só aumentando ou diminuindo a abertura do diafragma. É perceptível o aumento da nitidez da imagem.

Figura 31 – Imagens obtidas com tempo de exposição diferentes 2 - Colégio Modelo Luís Eduardo Magalhães.



Fonte: Relatório da equipe.

Os tempos de exposição estão descritos nas próprias fotografias acima. Abaixo, a mesma equipe tirou fotos com uma câmera semiprofissional Nikon. Percebe-se a saturação da imagem para o tempo de exposição de 60 s. Nesse caso, fica a lição de que em ambientes iluminados, não é necessária a captação de muitos fótons.

Figura 32 – Imagens obtidas com tempo de exposição diferentes 3 - Colégio Modelo Luís Eduardo Magalhães.



Fonte: Relatório da equipe.

Na Figura 33, mais algumas fotos, respectivamente com tempos de exposição de 15 s, 30 s e 60 s.

Figura 33 – Imagens obtidas com tempo de exposição diferentes 4 – Colégio Estadual José Ferreira Pinto.



Para o experimento 3, foram propostos dois procedimentos: a verificação da variação de temperatura para objetos com cores escuras e claras e a aquisição de fotos do céu noturno para identificação das cores de alguns objetos celestes.

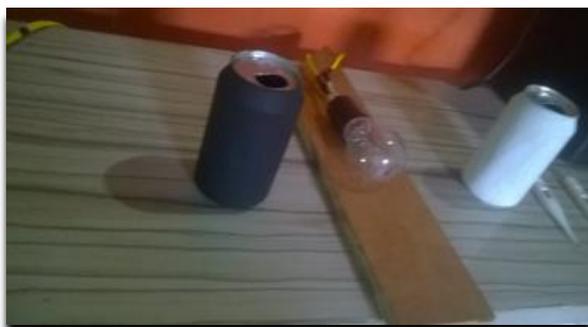
A simplicidade da primeira etapa não revela o verdadeiro caráter de sua importância, pois dessa forma os estudantes exploraram conceitos de temperatura e propagação da radiação, na medida em que observaram que o objeto pintado com cor preta chegou a uma temperatura maior.

Figura 34 – Experimento cor e temperatura 1.



Fonte: Relatório da equipe

Figura 35 – Experimento cor e temperatura 2.

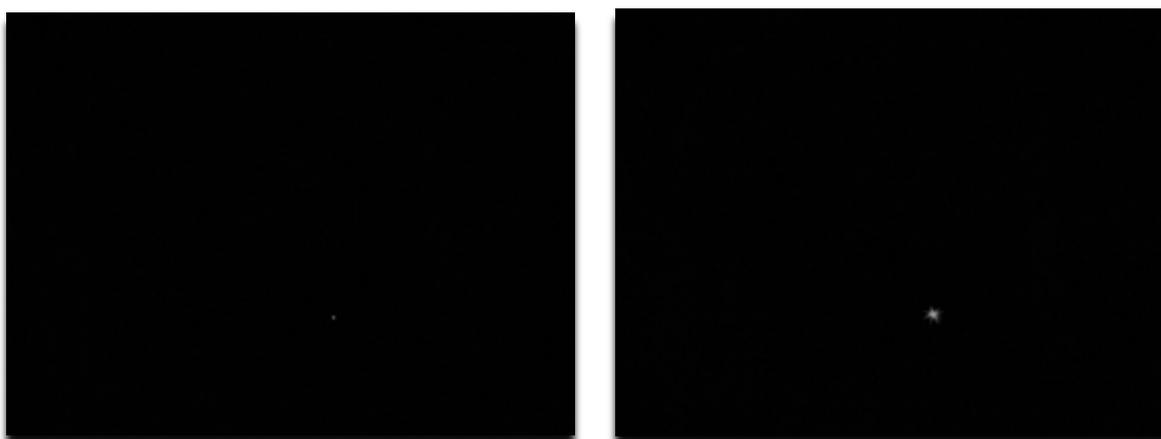


Fonte: Relatório da equipe

No relatório da equipe do Colégio Modelo (Figura 34), especificamente, foi constatado que a latinha pintada de branco atingiu aproximadamente 35,9 °C e a pintada de tinta preta atingiu 40,0 °C.

A segunda parte do experimento foi bastante difícil a execução, segundo relato de todas as equipes envolvidas. Problemas com a luminosidade da cidade, bem como dias com muitas nuvens e problemas técnicos apareceram logo de início. Ficou claro que obter fotografias nítidas do céu noturno na cidade de Feira de Santana seria quase impossível usando *smartphones* e câmeras digitais comuns. As melhores fotos com o celular obtidas foram as mostradas abaixo, ainda assim, não sendo possível identificar as cores dos objetos.

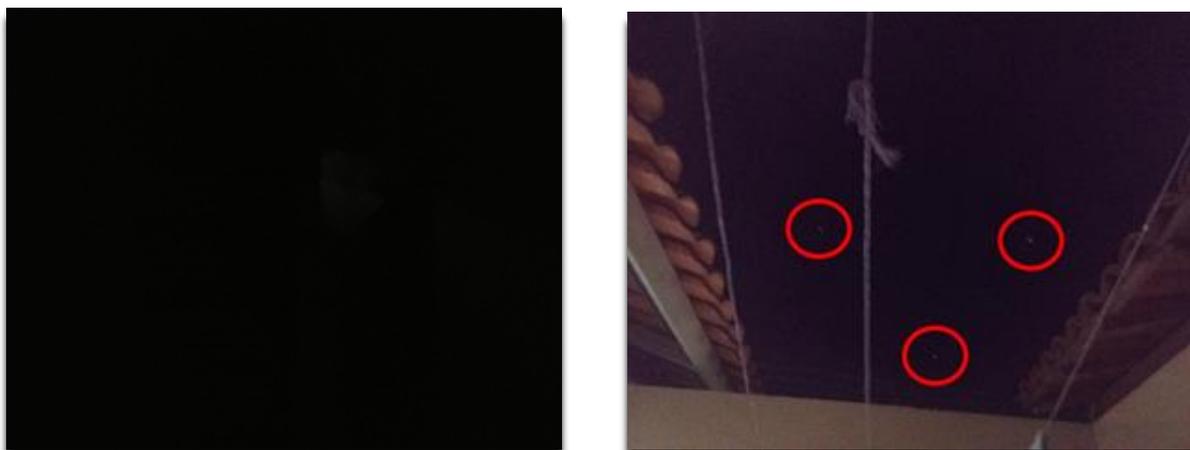
Figura 36 – Fotografias de corpo celeste 1.



Fonte: Relatório de equipe

As duas fotografias abaixo foram retiradas do relatório de outra equipe, agora do Colégio Estadual José Ferreira Pinto.

Figura 37 – Fotografias de corpo celeste 2.



Fonte: Relatório de equipe

É possível perceber que a fotografia melhora com o aumento do tempo de exposição, não especificado no relatório. Isso, porém, não permite saber que tipo de objeto foi fotografado.

O experimento mais importante foi feito por pelo menos duas equipes de cada turma, sendo que, das quatro turmas escolhidas para a observação dos resultados, duas tinham três equipes com o mesmo tema: construção de um espectroscópio e investigação qualitativa dos espectros de diversas fontes. A importância do tema se revela no fato de que é através da análise do espectro de uma estrela, por exemplo, que os astrônomos descobrem sua composição e outras características. As equipes se mostraram entusiasmadas com a possibilidade de executarem a tarefa, pois foi mostrado na parte teórica todo o poder e importância desse tipo de investigação para a ciência.

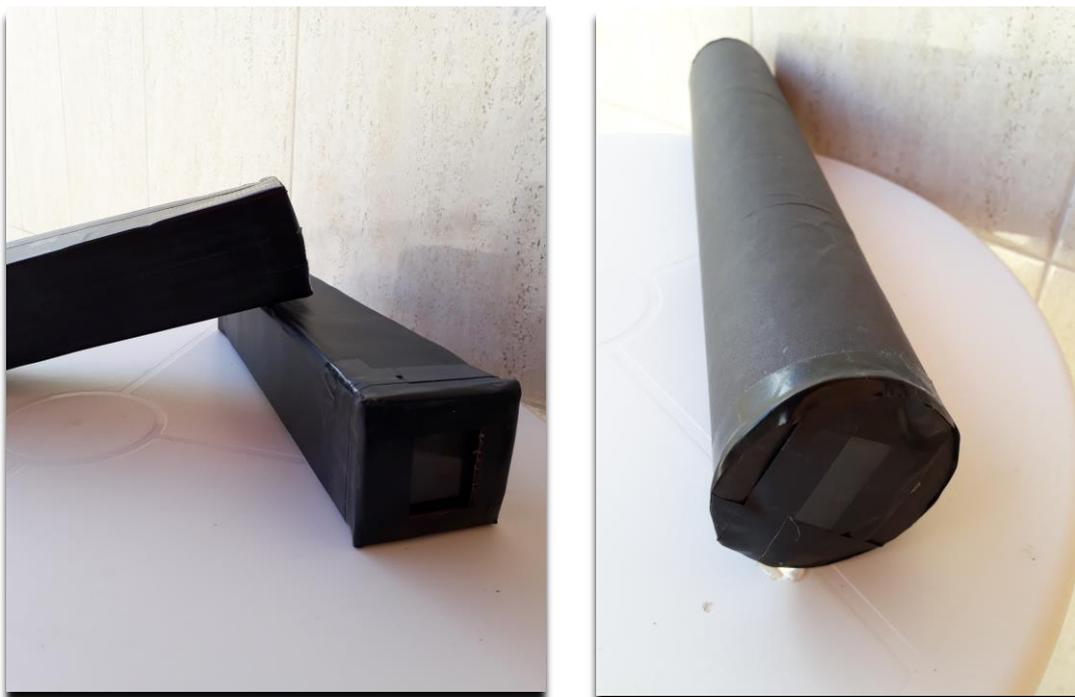
Abaixo, são mostradas fotos de alguns objetos construídos pelas equipes.

Figura 38 – Modelos de espectroscópios caseiros 1.



Fonte: O próprio autor.

Figura 39 – Modelos de espectroscópios caseiros 2.



Fonte: O próprio autor.

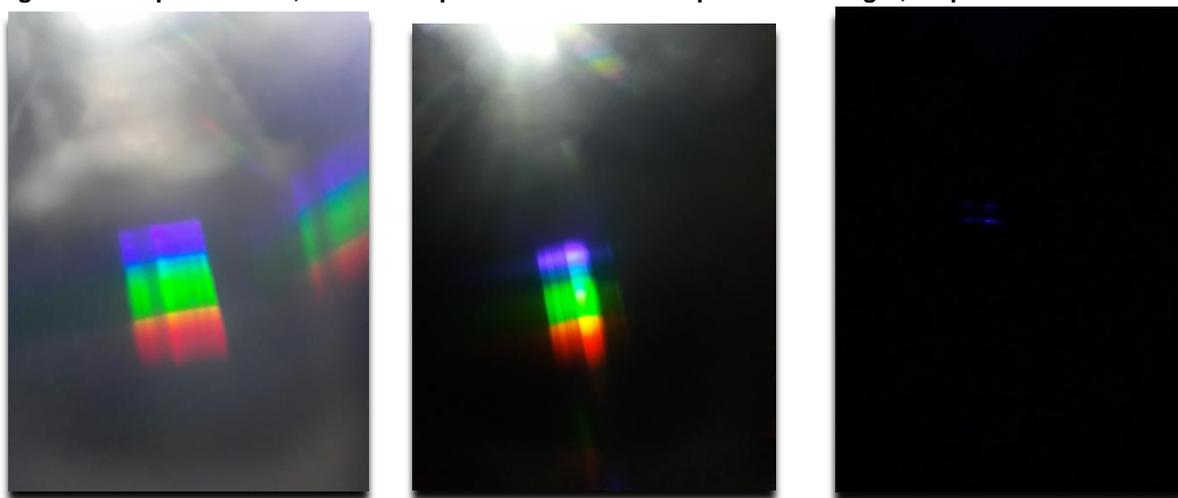
Foi dada às equipes a liberdade de escolha entre diversos modelos de espectroscópios caseiros que existem, adaptando inclusive às suas realidades.

Figura 40 – Espectroscópio caseiro para *smatphone*.



Um em particular chamou a atenção pelo seu tamanho (Figura 40, à direita), mas potencial para se obter ótimas imagens dos espectros, já que foi feito para acoplamento direto na câmera do *smartphone*. Aponta-se a câmera do *smartphone* para a fonte de luz, obtendo-se uma imagem relativamente clara do espectro que se quer observar, evitando problemas com a observação direta de fontes perigosas como o Sol.

Figura 41 - Espectro solar, de uma lâmpada de *led* e uma lâmpada de luz negra, respectivamente.



Fonte: O próprio autor

As equipes ainda tiveram que preencherem a Tabela 4 mostrada no capítulo anterior, expondo de forma qualitativa os resultados de suas observações. Abaixo, algumas tabelas escaneadas.

Figura 42 – Tabela de espectros preenchida pelas equipes 1.

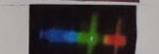
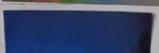
PREENCHER A TABELA ABAIXO COM OS DADOS OBSERVADOS

FONTE DE LUZ	TIPO DE ESPECTRO (CONTÍNUO OU DISCRETO)	REPRESENTAÇÃO DO ESPECTRO OBSERVADO	CORES QUE SE DESTACAM
VELA	CONTÍNUO		VERMELHO E VERDE
LÂMPADA INCANDESCENTE	CONTÍNUO		VERMELHO, VERDE E AZUL
LÂMPADA FLUORESCENTE	DISCRETO		VERDE E AZUL
LÂMPADA DE LED	CONTÍNUO		VERMELHO, VERDE E AZUL
LÂMPADA DE LUZ NEGRA	CONTÍNUO		TONS DE AZUL E ROXO
SOL (CUIDADO! NÃO DIRETAMENTE)	CONTÍNUO		VERMELHO, VERDE E AZUL

Obs.: Na parte da representação do espectro observado, pode ser feito um desenho do espectro ou uma fotografia do espectro, contanto que o recorte caiba no local da tabela

Figura 43 – Tabela de espectros preenchida pelas equipes 2.

PREENCHER A TABELA ABAIXO COM OS DADOS OBSERVADOS

FONTE DE LUZ	TIPO DE ESPECTRO (CONTÍNUO OU DISCRETO)	REPRESENTAÇÃO DO ESPECTRO OBSERVADO	CORES QUE SE DESTACAM
VELA	contínuo		AZUL VERDE VERMELHO UM POUCO DE AMARELO
LÂMPADA INCANDESCENTE	contínuo		AZUL MARINHO VERMELHO AZUL CLARO
LÂMPADA FLUORESCENTE	contínuo/discreto		VERDE AMARELO AZUL MARINHO AZUL CLARO VERDE VERMELHO
LÂMPADA DE LED	contínuo		AZUL MARINHO AZUL CLARO VERDE AMARELO VERMELHO
LÂMPADA DE LUZ NEGRA	contínuo		AZUL
SOL (CUIDADO! NÃO DIRETAMENTE)	Discreto		AZUL VERDE VERMELHO

Obs.: Na parte da representação do espectro observado, pode ser feito um desenho do espectro ou uma fotografia do espectro, contanto que o recorte caiba no local da tabela

Figura 44 – Tabela de espectros preenchida pelas equipes 3.

Componentes: Krika Lima, Felipe Cabral, Fernando Santos, Gabriela Mascarenhas, Rayssa Sitar, Taymize Araújo, Victor Mendes.
Série: 3º ano. Turma: E Turno: Matutino

PREENCHER A TABELA ABAIXO COM OS DADOS OBSERVADOS

FONTE DE LUZ	TIPO DE ESPECTRO (CONTÍNUO OU DISCRETO)	REPRESENTAÇÃO DO ESPECTRO OBSERVADO	CORES QUE SE DESTACAM
VELA	contínuo		verde e vermelho
LÂMPADA INCANDESCENTE	contínuo		verde
LÂMPADA FLUORESCENTE	Discreto		verde e vermelho
LÂMPADA DE LED	Discreto		verde e azul
LÂMPADA DE LUZ NEGRA	Discreto Obs: Não achamos a lâmpada negra.		verde e amarelo
SOL (CUIDADO! NÃO DIRETAMENTE)	contínuo		verde e amarelo

Obs.: Na parte da representação do espectro observado, pode ser feito um desenho do espectro ou uma fotografia do espectro, contanto que o recorte caiba no local da tabela

Figura 45 – Tabela de espectros preenchida pelas equipes 4.

PREENCHER A TABELA ABAIXO COM OS DADOS OBSERVADOS

FONTE DE LUZ	TIPO DE ESPECTRO (CONTÍNUO OU DISCRETO)	REPRESENTAÇÃO DO ESPECTRO OBSERVADO	CORES QUE SE DESTACAM
VELA	discreto		vermelho verde azul
LÂMPADA INCANDESCENTE	contínuo		vermelho verde azul
LÂMPADA FLUORESCENTE	contínuo		vermelho verde azul roxo
LÂMPADA DE LED	contínuo		vermelho verde roxo azul
LÂMPADA DE LUZ NEGRA	contínuo		violeta
SOL (CUIDADO! NÃO DIRETAMENTE)	contínuo		vermelho amarelo azul claro azul escuro

Obs.: Na parte da representação do espectro observado, pode ser feito um desenho do espectro ou uma fotografia do espectro, contanto que o recorte caiba no local da tabela

A ideia era fazer os estudantes trabalharem com a sistematização de informações a partir de observações, embora a tarefa em questão não seja das mais elaboradas. Mas o simples ato de refletir e discutir em grupo os detalhes da montagem dos experimentos bem como formas de colher os dados, nem que saibam qualitativos, já é bastante frutífero. Os relatos colhidos em aula davam conta da empolgação da maioria dos envolvidos nas tarefas, de verem enfim o seu produto pronto para ser apreciado pelos colegas e professor.

Enfim, os vídeos poderiam ser montados e postados nos respectivos grupos do Facebook. A variação de estilos foi bem diversificada, indo desde jornais televisivos até imagens sobrepostas com narração em *off*. Alguns vídeos mostraram os talentos de alguns para a narração e roteiro, outros o perfil de apresentadores, mas todos com certo apuro técnico (no limite do permitido). Abaixo, seguem fotos de alguns dos vídeos em momentos escolhidos aleatoriamente.

Figura 46 – Vídeo demonstrativo do Efeito Fotoelétrico 1.



Fonte: Grupo do Facebook

Figura 47 – Vídeo demonstrativo do Efeito Fotoelétrico 2.



Fonte: Grupo do Facebook

A equipe do vídeo foi uma das muitas que não conseguiram a demonstração do efeito fotoelétrico usando placa de calculadora solar.

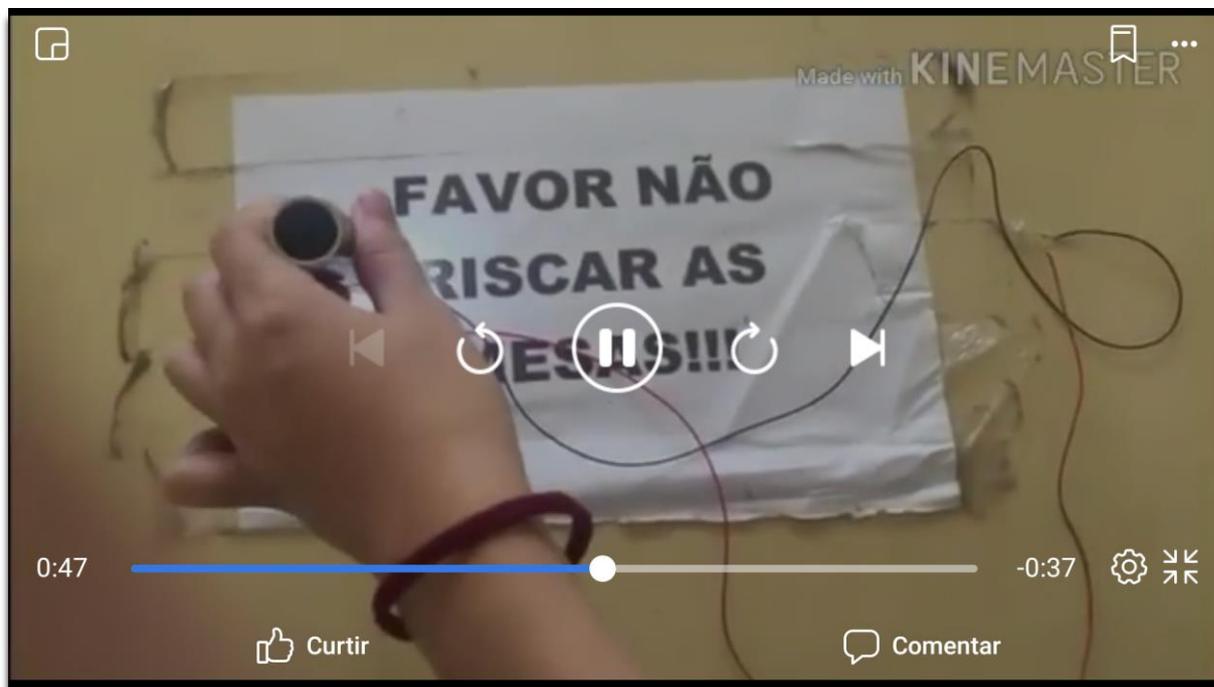
Figura 48 - Equipe demonstrando o experimento com as latinhas.



Fonte: Grupo do Facebook

A equipe abaixo conseguiu realizar o experimento do efeito fotoelétrico depois de ter comprado uma calculadora solar verdadeira para retirar sua placa.

Figura 49 – Vídeo demonstrativo do Efeito Fotoelétrico 3.



Fonte: Grupo do Facebook

Figura 50 - Equipe montando o espectroscópio.



Fonte: Grupo do Facebook.

Figura 51 - Equipe demonstrando os espectros para fontes diferentes.



Fonte: Grupo do Facebook

A equipe do vídeo abaixo demonstrou o efeito fotoelétrico usando uma montagem com placa *protoboard* e uma placa solar.

Figura 52 - Vídeo demonstrativo do Efeito Fotoelétrico 4.



Fonte: Grupo do Facebook

Com as luzes apagadas e uma lanterna fazendo luz incidir sobre a placa solar, o led ligado ao protoboard acende.

Figura 53 - Vídeo demonstrativo do Efeito Fotoelétrico 4.1.



Fonte: Grupo do Facebook

Em sua maioria, os vídeos conseguiram alcançar o objetivo, que era fazer com que os estudantes se articulassem entre si para a escolha do conteúdo, gravação, edição e postagem nos grupos. O professor comentou sobre os vídeos, fazendo observações, como correções, sugestões e em muitos casos elogiando os resultados. Os colegas dos outros grupos puderam acompanhar os conteúdos e também puderam tecer comentários, criando uma espécie de rede colaborativa, como se estivéssemos na sala de aula assistindo aos seminários.

CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES

Toda proposta de intervenção didática busca agregar um caráter inovador ao modo como se desenvolve uma aula ou conjunto delas. Nesse sentido, a melhor forma de se testar a proposta é construí-la ao mesmo tempo em que se aplica, podendo ser feitas alterações diversas e pontuais para aumentar sua eficiência.

A introdução da Física Moderna nas escolas de Ensino Médio é uma necessidade apontada pelos estudos há muito tempo, ao mesmo em que o desenvolvimento de argumentos em seu favor não é tarefa das mais difíceis. O próprio pensamento humano foi modificado por suas ideias e fingir não admitir sua influência no dia a dia é no mínimo ingênuo. Se um dos pilares da educação formal é permitir às pessoas o exercício da cidadania através de uma de suas vertentes, o conhecimento científico, não se pode negar de modo algum o acesso às ideias revolucionárias e em constante evolução da Física Moderna.

O fato de os relatos das atividades aqui mostradas deixarem claro a junção da Física Moderna com a Astronomia é porque se entende que há uma relação profunda entre ambas. Por outro lado, a segunda área permite uma maior aproximação entre o conhecimento científico e o cotidiano da sala de aula, provocando bastante curiosidade por se tratar de uma área que lida com perguntas ligadas à origem de todas as coisas.

Pensando exatamente nesse aspecto é que esta pesquisa foi proposta, com a intenção de tornar o aprendizado de um conteúdo novo usando perguntas que uma parte significativa das pessoas já fizeram em algum momento de suas vidas. Quem nunca se perguntou o que são as estrelas? Do que são compostas? Como a matéria que compõe todas as coisas foi formada? Essas perguntas foram encaminhadas e discutidas ao longo da aplicação das atividades e a cada descoberta, percebia-se a motivação em aprender mais por parte dos estudantes aumentando. Uma das indagações mais instigantes é o fato de os astrônomos descobrirem tantas coisas de objetos tão distantes. As técnicas apresentadas tentaram mostrar como esses pesquisadores chegam a suas conclusões, proporcionando o entendimento de que os avanços ocorridos vieram muito por conta das novas ideias da Física Moderna.

Um dos objetivos da pesquisa era demonstrar aos estudantes que toda teoria científica vem atrelada a paradigmas que nem sempre têm caráter científico, tendo relação direta com aspectos culturais, filosóficos, sociais etc. A ruptura provocada pelo novo pensamento serviu de bela ilustração para o processo de desenvolvimento do conhecimento científico.

Na aplicação de todas as etapas do projeto, fez-se necessária a participação efetiva dos estudantes, ora emulando o trabalho científico propriamente dito, ora por conta de as decisões afetarem significativamente suas vidas escolares. Em muitos momentos a zona de conforto foi deixada de lado, na medida em que algumas atividades, como as discussões sobre os experimentos, fizeram com que os próprios envolvidos fossem levados a tomarem escolhas de materiais, bem como buscarem soluções para os problemas que surgiram no processo. O principal deles foi com respeito ao Efeito Fotoelétrico. Os estudantes tiveram que pesquisar uma solução alternativa para o fato de as placas retiradas das calculadoras não serem de fato solares. O enriquecimento advindo dessa necessidade não pode ser medido e deve ser encarado como mais uma parte do processo de amadurecimento que leva ao encantamento pela descoberta científica. Vale ressaltar, novamente, o caráter ilustrativo do experimento, pois o efeito fotovoltaico, apesar de ser efetivamente diferente do efeito fotoelétrico, guarda semelhanças com o mesmo, no sentido de ser a luz a responsável pelo surgimento da diferença de potencial na junção entre os semicondutores.

Aliás, na esteira dessa discussão, é necessário abordar outro aspecto bastante interessante observado. A dificuldade que grande parte dos envolvidos tiveram ao tentar articular o conhecimento adquirido nos anos anteriores, como uma ponte para a compreensão dos novos conceitos. Como algumas atividades exigiram certo nível de consciência quanto a isso, o não entendimento de alguns por parte do processo mostrou-se empecilho para o passo seguinte. Um exemplo disso foi quando tiveram que preencher o quadro-avaliação do Apêndice 2, para articularem conhecimentos antigos ao processo de Evolução Estelar. As intervenções foram mais incisivas para a obtenção dos objetivos com a atividade que, além de resgatar conteúdos, levou à construção dos mapas conceituais.

Este trabalho defende a ideia de que uma proposta pedagógica deva ser incorporada ao cotidiano escolar. Assim, procurou-se integrar todo o novo conteúdo à

rotina dos estudantes da Terceira Série do Ensino Médio. Se assim não fosse, a aplicação da proposta pareceria fora do alcance e para os próprios estudantes, algo que somente faria sentido para o desenvolvedor da pesquisa. A simplicidade das atividades também foi outro fator motivador, demonstrando que para uma mudança na forma como se trabalha com conteúdos na sala de aula não é preciso alterar significativamente a vida escolar.

Os resultados dessa empreitada executada no ano de 2017 culminaram com a confecção de um livro, intitulado *Compreendendo a Evolução Estelar a partir de Conceitos de Física Moderna*, espécie de paradidático, abordando o conteúdo Estrelas, com linguagem apropriada ao Ensino Médio. Costurando informações científicas e algumas propostas de atividades, o livro discute de que forma a Espectroscopia, a Radiação de Corpo Negro e o Efeito Fotoelétrico moldaram pesquisas avançadas em Astronomia, em particular, a Evolução Estelar.

A estrutura do material foi pensada para demonstrar as principais etapas da busca pelo entendimento sobre as estrelas. Começa-se pelos mitos de criação do mundo em culturas como a grega, egípcia e ameríndios, passando pelas especulações feitas pelos filósofos gregos, de que o Sol era um fogo divino ardente e que buracos na esfera celeste deixavam escapar a luz de outro fogo vindo de muito longe, constituindo as estrelas. A ciência foi avançando e, depois de sua constituição de fato, as perguntas sobre corpos celestes, em particular as estrelas, foram ficando cada vez mais sofisticadas. O livro aborda esse caminho e, na medida em que avança, fica clara a necessidade de novas ideias, incluindo novas teorias e métodos que possam dar conta de perguntas mais profundas.

É nesse momento que a abordagem adotada se torna evidente: a cada nova descoberta, perguntas são respondidas, como o fato de a idade da Terra ser importante para o estabelecimento da idade do Sol. A essa altura (segunda metade do século XIX, início do século XX), o Sol é uma estrela e estudá-lo é preponderante, já que o mesmo está mais perto da Terra. Os conteúdos discutidos são: Física Nuclear, Espectroscopia, Radiação de Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico. As informações apresentadas giram em torno da Evolução Estelar, como a forma de produzirem energia, além de discussões a respeito de como os astrônomos fazem suas descobertas.

Grande parte do conteúdo do livro nasceu das discussões em sala de aula, como perguntas e propostas feitas pelos estudantes. Em mais de uma vez, por exemplo, o professor foi indagado sobre quando o Sol passou a ser considerado uma estrela de fato. A Espectroscopia foi importantíssima nesse aspecto. Outro momento foi a discussão natural sobre o papel de cientistas mulheres nessas descobertas. Os textos trabalhados em sala de aula trouxeram isso à tona, sendo levado para o livro com uma seção dedicada ao assunto, incluindo propostas de materiais para leituras complementares.

O material não pretende ser definitivo e nem é o único (as últimas levas de livros do programa governamental para livros didáticos trazem, em sua maioria, conteúdo sobre Evolução Estelar e Física Moderna de modo satisfatório), mas a intenção foi trazer uma linguagem mais simples sem perder o rigor com os fatos científicos. Além do mais, trabalhos diferentes abordando o mesmo tema sempre acrescentam a visão do autor, que nesse caso é uma mistura de conteúdo didático com discussões históricas e filosóficas.

O livro pode servir de aplicação em outras situações que permitam aos estudantes do Ensino Médio a entrada nesse novo mundo cheio de ideias revolucionárias e fascinantes. É apenas o começo e mais uma proposta de introdução de novos tópicos a um ensino que parece por vezes longe da realidade ou do interesse dos estudantes. A avaliação dos erros e dos acertos deve ser feita para um aprimoramento do método para aplicações posteriores, até por parte de outros professores, que deverão fazer adaptações de acordo com suas próprias necessidades. A relevância dos temas trabalhados persiste na medida em que se considera dois aspectos: um viés epistemológico, provocando nos estudantes o amadurecimento de discussões não muito bem trabalhadas em sala, como as características do pensamento científico; e outro tecnológico, quando os atores no processo compreendem o funcionamento de tecnologias que já fazem parte do cotidiano, bem como suas implicações para a vida moderna. Tudo isso costurado pelos temas instigantes da Astronomia.

Espera-se que práticas como essa possam se tornar rotineiras, mesmo que não estejam atreladas diretamente a programas de pós-graduação. Diante das mudanças preconizadas no ensino, a comunidade escolar só tem a ganhar, na medida em que o currículo proposto para as escolas possa encontrar nessas práticas fontes de inspiração para constantes reajustes.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. L. F.; MASSABNI, V. G. **O desenvolvimento de atividades práticas na escola: um desafio para os professores de ciências.** *Ciência & Educação*, Baurú, v. 17, n. 4, p. 834-854, 2011.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico.** 1 ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BARBOSA, E. **Gaston Bachelard e o racionalismo aplicado.** *Cronos*, Natal, v. 4, n. 1/2, p. 33-37, jan./dez. 2003.

BASSOLI, F. **Atividades práticas e o ensino-aprendizagem de ciência(s): mitos, tendências e distorções.** *Ciência & Educação*, Baurú, v. 20, n. 3, p. 579-593, 2014.

BRASIL. **Guia de livros didáticos: PNLD 2015. Física: ensino médio.** Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2014.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio Parte III: Ciências Naturais,** Ministério da Educação e Cultura, Brasília.

BRASIL. **Base Nacional Curricular Comum-BNCC.** Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2018.

BRASIL. Ministério de Educação e Cultura. **PCN+ Ensino Médio:** orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Linguagens e Códigos e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. **Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna?** *Investigação em Ensino de Ciências*, v. 10(3), p. 387-404, 2005.

CAPOZZOLI, U.; DAMINELI, A.; MOLINA, E. C.; PICAZZIO, E.; NETO, G. B. L.; HETEM, J. G.; COSTA, R.; JATENCO, V.; MACIEL, W. **O céu que nos envolve: Introdução à astronomia para educadores e iniciantes**. São Paulo. Odysseus. 2011.

CARVALHO, A. A., SILVA, R. R., REBELO, J. M. A., VIANA, A. F. **O mundo das imagens digitais**. *Matéria*, v. 8, n. 2, p. 167 – 186, 2003.

CHALMERS, A. F. **O que é a ciência afinal?** Editora Brasiliense, São Paulo, 1993.

CHEVALLARD, Y. **Sobre a teoria da transposição didática: algumas considerações introdutórias**. *Revista de Educação, Ciências e Matemática*, v. 23, n. 2, mai./ago. 2013.

DELIZOICOV, D. **Problemas e problematizações**. In: Maurício Pietrocola. *Ensino de Física: Conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora*. 2ª Ed. Ilhéus: Ed. da UESC.

FREIRE, P. **Extensão ou comunicação?** Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1977.

GAMA, L. D.; HENRIQUE, A. B. **Astronomia na sala de aula: por quê?** *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, n. 9, p. 7-15, 2010.

GERBASSI, R. S.; VIANNA, D. M.; OLIVEIRA, F. F. **Física Moderna no ensino médio: o que dizem os professores**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.

GIORDAN, M. **O papel da experimentação no ensino de ciências**. *Química Nova na Escola*, n. 10, nov. 1999.

GREGORIO-HETEM, JANE. **Uma estrela-bebê de 10 mil anos**. Observatórios Virtuais, CNPq, sem data.

HALMENSCHLAGER, K. R. **A problematização no ensino de ciências: um0a análise da situação de estudo**. In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2011, Campinas. Atas VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Rio de Janeiro: ABRAPEC, 2011. p. 1-10.

HENRIQUE, A. B., NOGUEIRA, M., ALMEIDA, T., OLIVEIRA, V. **Sequência didática controvérsias na Cosmologia**. Núcleo de Pesquisas em Inovações Curriculares, Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo-FEUSP – acesso: <http://sites.usp.br/nupic/controversias-na-cosmologia/>

KLEIN, E. A.; ARRUDA, S. M.; PASSOS, M. M.; ZAPPAROLI, F. V. D. **Os sentidos da observação astronômica: uma análise com base na relação com o saber**. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, n. 10, p. 37-54, 2010.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 8 ed. São Paulo: Perspectiva, 2003.

LIMA, C. M. S. **Concepções dos estudantes de física da UEFS acerca da natureza da ciência**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, 2006.

LOCH, J.; GARCIA, N. M. D. **Física moderna e contemporânea na sala de aula do ensino médio**. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009, Florianópolis. Atas VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis. ABRAPEC, 2009. p. 1-12.

MARRANGHELLO, G. F.; PAVANI, D. B. **Astronomia e Física Moderna: duas necessidades, uma solução**. I Simpósio Nacional de Educação em Astronomia. Rio de Janeiro. 2011.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa em Mapas Conceituais**. Texto de Apoio ao Professor de Física. V. 24, n. 6, UFRGS, Rio Grande do Sul, 2013.

MUNFORD, D.; LIMA, M. E. C. C. **Ensinar ciências: em quê estamos de acordo?** *Revista Ensaio*, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, p. 89-111, jun./jul. 2007.

NARDI, R., LANGHI, R. **Ensino da Astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 4, 4402, 2009.

PEIXOTO, D. E., KLEINKE, M. U. **Expectativas de estudantes sobre a Astronomia do Ensino Médio.** *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia - RELEA*, n. 22, p. 21-34, 2016.

PERUZZO, J.; POTTKER, W. E.; PRADO, T. G. **Física Moderna e Contemporânea: das teorias quânticas e relativísticas às fronteiras da física.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.

PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física em contextos: pessoal, social e histórico.** v. 3. São Paulo: Editora FTD, 2010.

SILVA, ANDRÉ BASTOS DA. **Evolução Estelar no ensino de Ciências.** Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Astronomia, 2017.

SILVA, L. F.; ASSIS, A. **Física Moderna no ensino médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico.** *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 29, n. 2, p. 313-324, ago. 2012.

SILVA, C. S.; PENIDO, M. C. M. **Problematizando em aulas de Física.** Atas do IX Encontro Nacional de pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC. São Paulo, nov. 2013.

SILVA, S. C.; AVIZ, I. J. T.; TEIXEIRA, S. M. F.; MONTEIRO, W. M.; SOUZA, J. R. P. **S. Efeito Fotovoltaico versus Efeito Fotoelétrico na Escola de Educação Básica.** IV Congresso Nacional de Educação-IV CONEDU. João Pessoa, PB, nov. 2017.

SOLER, D. R.; LEITE, C. **Importância e justificativas para o ensino de astronomia: um olhar para as pesquisas na área.** II Simpósio Nacional de Educação em Astronomia. São Paulo, 2012.

VERONA, M. F.; LORENCINI JR, Á. **Parâmetros Curriculares Nacionais, Atividades de Educação Ambiental na Escola e Metodologia da Problematização: em busca de um possível espelhamento.** In: VII ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências, 2009, Florianópolis – SC. Anais do Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências. Belo Horizonte – MG: FAE – UFMG – ABRAPEC, 2009.

VERTCHENKO, L.; DICKMAN, A. G. **Um experimento simples com a lâmpada de filamento: oportunidade para discutir a universalidade das propriedades da radiação térmica.** XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física. Rio de Janeiro, 2005.

VILLANI, A. **Filosofia da ciência e ensino de ciência: uma analogia.** *Ciência & Educação*, v. 7, n.2, p. 169-181, 2001.

WUENSCHÉ, C. A.; **Astronomia versus Astrologia.** *Revista Ciência Hoje*, v. 43, n. 256, p. 24-29, São Paulo, 2009.

ZYLBERSZTAJN, A. **Resolução de problemas: uma perspectiva kuhniana.** Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. SBF/UFSC, Florianópolis, out. 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE 1

SEQUÊNCIA DIDÁTICA - EVOLUÇÃO ESTELAR

TEMA: Evolução Estelar

PÚBLICO ALVO: 3ª Série do Ensino Médio

NÚMERO DE AULAS: 11

JUSTIFICATIVA: O estudo da Evolução Estelar se desenvolveu bastante no século XX por conta dos avanços nas técnicas de observação astronômica e das teorias de suporte para a compreensão do processo. Com o advento da Física Nuclear, foi possível responder perguntas específicas quanto ao funcionamento de uma estrela, incluindo, principalmente, a etapa conhecida como Sequência Principal, com a fornalha que mantém a geração de energia por longos períodos de tempo. Pensando numa perspectiva em longo prazo, o entendimento de todo esse processo não só permite ao ser humano o conhecimento de como os elementos primordiais para a vida são sintetizados, como também a possibilidade de reprodução em laboratório da fusão nuclear, podendo garantir eficiência na geração de energia na Terra.

DESENVOLVIMENTO DAS AULAS

AULA 1 – Essa aula tem por objetivo fazer uma espécie de sondagem para levantamento de conhecimentos prévios dos estudantes sobre o tema geral a ser abordado. Pela quantidade de alunos por sala (em média 40), foram elaboradas 8 perguntas sem ordem lógica para que pudessem escrever livremente, incluindo a possibilidade de respostas negativas do tipo “*não sei responder*”.

Abaixo, seguem as perguntas:

- a) O que é uma estrela?
- b) Você sabe quais métodos podem ser usados para se extrair a energia do núcleo de um átomo?

- c) Como uma estrela como o Sol produz energia? Tente explicar o processo com base no que você conhece.
- d) É possível reproduzir o mecanismo descrito acima na Terra? Explique.
- e) Você já ouviu falar de espectro eletromagnético? Em caso afirmativo, descreva-o.
- f) Para você, existe relação entre o estudo das radiações e o estudo da evolução estelar? Explique.
- g) Em sua opinião, em que estudar a evolução estelar pode ajudar no desenvolvimento humano?
- h) Qual elemento químico mais abundante no universo?

A análise dessas respostas deve servir de base para uma medida de quanto os estudantes têm contato com questões envolvendo Astronomia durante sua vida escolar.

AULAS 2 E 3 –

a) Breve histórico sobre o Sol.

Relato sobre as principais ideias referentes ao Sol, desde alguns mitos em diversas culturas, filosofia grega e o desenvolvimento da Astronomia.

b) Como o Sol produz energia?

Estimativas históricas da idade da estrela, baseadas em hipóteses sobre sua constituição interna, como carvão, TNT e a proposta de Helmholtz de que o Sol seria composto de um gás ideal sofrendo compressão gravitacional, gerando luz e calor. Comparação com a idade da Terra calculada à época. Verificação de discrepâncias com a teoria mediante datação por carbono, que revelou uma idade para o planeta da ordem de bilhões de anos. Em seguida, análise da proposta feita pelo astrônomo Arthur Eddington de que ocorria a fusão de hidrogênio no núcleo do Sol.

AULA 4 –

- a) Apresentação da equação de Einstein e discussão de como ocorre a conversão da energia a partir da massa na formação do hélio. Os estudantes foram levados a pensar

quais consequências se pudessemos converter completamente qualquer massa em energia;

b) Cálculo da massa de hidrogênio que é transformada em hélio por segundo a partir da luminosidade do Sol que chega ao planeta Terra;

c) Discussão do resultado;

d) Proposta de seminários rápidos com os temas listados abaixo e divisão das equipes.

Temas:

- O SOL VISTO POR VÁRIAS CIVILIZAÇÕES DIFERENTES;
- AS CONSTELAÇÕES NAS DIFERENTES CIVILIZAÇÕES;
- A IMPORTÂNCIA DO SOL PARA A VIDA NA TERRA;
- DISPERSÃO DA LUZ: POR QUE O CÉU É AZUL?
- COMPARANDO O SOL COM OUTRAS ESTRELAS;
- ATMOSFERA DO SOL: FOTOSFERA, CROMOSFERA, REGIÃO DE TRANSIÇÃO, VENTO SOLAR;
- ATIVIDADE SOLAR: CICLO DE 11 ANOS, ERUPÇÕES SOLARES, EFEITOS NA TERRA.

As equipes deverão produzir cartazes bem como apresentar os conteúdos propostos, serão avaliadas as apresentações em si, bem como a criatividade e beleza dos cartazes.

AULA 5 – Há uma série de 6 vídeos curtos (9 minutos de duração em média) nos quais a Física Nuclear é apresentada de modo simples e dinâmico, com histórico dos principais acontecimentos e animações para o entendimento do conteúdo. Serão utilizados os 4 primeiros vídeos, pois proporcionam uma base para a compreensão dos processos de fissão e principalmente fusão nuclear. Os dois últimos vídeos foram descartados por relatarem o funcionamento de uma usina e algumas aplicações da área. Ao fim, foi solicitada uma rápida pesquisa sobre a presença das mulheres na Física nuclear.

AULAS 6 E 7 – Apresentação dos seminários com os temas propostos na aula 4.

AULAS 8 E 9 –

- a) Rápida discussão sobre as mulheres na Física Nuclear;
- b) O nascimento de uma estrela;
- c) A vida na Sequência Principal – Diagrama HR;
- d) Detalhes da Fusão Termonuclear – Principais cadeias;
- e) Tipos de morte para uma estrela.

Após as aulas, os estudantes terão acesso a um material descrevendo a evolução estelar para estudo em casa.

AULA 10 – Reunidos em grupos, os estudantes deverão os estudantes deverão preencher um quadro-síntese sobre o processo de evolução estelar, relacionando os conteúdos de física estudados em anos anteriores. O objetivo é preparar a síntese para a construção de um mapa posteriormente.

AULA 11 – Construção do mapa conceitual.

Obs.: Paralelamente às aulas e atividades em sala, os estudantes devem se reunir em grupos e produzirem vídeos criativos sobre supernovas. Esses vídeos serão postados em uma página do *Facebook* criada com o objetivo de compartilhamento de conteúdos diversos.

APÊNDICE 2**QUADRO PARA SÍNTESE DO CONHECIMENTO****MÃOS À OBRA**

1- Organize e defina os conceitos (conteúdos) de Física que aparecem na descrição do modelo de Evolução Estelar.

2- Enumere as etapas da Evolução Estelar de acordo com sua preferência/entendimento.

3- Preencha o quadro abaixo.

OBJETO	DEFINIÇÃO	CONTEÚDO DE FÍSICA QUE MAIS SE DESTACA	ORIGINADA EM QUAL ETAPA?
Gigante Vermelha			
Protoestrela			

Supernova			
Estrela de Nêutrons			
Supergigante Vermelha			
Anã Branca			
Buraco Negro			

APÊNDICE 3

SEQUÊNCIA DIDÁTICA – INTRODUÇÃO À FÍSICA MODERNA

TEMA: Radiação de Corpo Negro, Efeito Fotoelétrico e Espectroscopia

PÚBLICO ALVO: 3ª Série do Ensino Médio

NÚMERO DE AULAS: 11

JUSTIFICATIVA: No final do século XIX a Física atingiu uma espécie de encruzilhada em seu desenvolvimento com alguns problemas sem respostas. Para respondê-los, deveria mudar radicalmente sua forma de observar a natureza, deixando de lado teorias que vinham fazendo grande sucesso, mas que não conseguiam manter o mesmo padrão até então considerado. Um desses problema era a distribuição de frequências com relação à temperatura para um tipo de corpo conhecido como corpo negro. A solução obtida por Planck foi de fundamental importância para a revolução que viria a seguir, com a extensão do conceito de quantização para a luz, feita por Einstein. Novas ideias que não somente mudaram o pensamento científico, mas também trouxeram novos métodos para a Astronomia que, ao incorporar a Espectroscopia, poderia realizar suas investigações de modo bastante preciso, como conhecer a composição de uma estrela. Melhorou também suas técnicas de observação, evoluindo da chapa fotográfica para as câmaras de CCD, aplicação direta do Efeito Fotoelétrico explicado por Albert Einstein.

DESENVOLVIMENTO DAS AULAS

AULA 1 – Estabelecendo a relação entre teoria e experimento

Trabalhar o texto “É possível uma teoria de tudo?”. Após a análise do texto, os estudantes deverão responder às seguintes perguntas:

- 1- De acordo com os fragmentos do texto e seu conhecimento sobre as ciências naturais descreva em poucas palavras o que é uma teoria física (científica).
- 2- Explique, com suas palavras, o conceito de campo.
- 3- O texto compara a teoria de Isaac Newton para a gravidade com a proposta por Einstein quase trezentos anos depois. Cite pelo menos uma ideia de qualquer área da ciência (Física, Química e Biologia) na qual um mesmo fenômeno foi explicado por teorias diferentes.
- 4- Quais as quatro forças fundamentais do universo?
- 5- Quais as vantagens de se ter uma teoria unificada? Cite pelo menos um exemplo de unificação ao longo da História da Ciência.
- 6- Duas das grandes teorias atuais da física são a Mecânica Quântica e a Relatividade Geral. Explique, com suas palavras, a incompatibilidade entre elas.
- 7- Albert Einstein, com sua teoria para a gravitação, propôs a existência das ondas gravitacionais e, de maneira geral, como os cientistas poderiam detectá-las. Somente 100 anos depois, essas ondas foram detectadas e este ano, 2017, os envolvidos com essa detecção foram laureados com o Prêmio Nobel de Física pela descoberta. Comente a relação entre teoria e experimento a partir desse e de outros fatos.

AULA 2 – Os problemas que levaram à Física Quântica

Trabalhar o texto *“O início de uma moderna revolução”*, do Prof. Dr. Adilson de Oliveira, que aborda o problema da Radiação de Corpo Negro. Encaminhar a discussão levando os estudantes a refletirem sobre as seguintes questões:

- a) O que é um corpo negro?
- b) Como se comportava a curva característica de um corpo negro?
- c) Quais eram as duas explicações na época para aquele comportamento?
- d) No que elas falharam?
- e) O que eles enquanto estudantes achavam sobre essa possível ruptura que estava prestes a acontecer?

AULA 3 – Se possível usando slides, apresentar a solução proposta por Planck e suas consequências. Através de algum aplicativo de mensagens ou outro meio, o professor deve disponibilizar um vídeo explicando como fazer uma experiência com duas latas

de alumínio, uma pintada com tinta preta e outra com tinta branca, sendo aquecidos por uma fonte de luz. Os resultados das observações podem ser discutidos em outra aula.

AULA 4 – Após encaminhar rápida discussão sobre os resultados do experimento (se os estudantes fizerem), o professor deverá apresentar uma série de materiais, como textos, dados e outras informações, a seu critério, sobre ondas eletromagnéticas, que devem ser organizadas e sistematizadas. A tarefa será feita em grupos.

AULA 5 – Depois da organização, cada equipe elegerá um representante para apresentar as conclusões, contendo:

- a) O que é uma onda? Quais suas características? Quais os tipos?
- b) Como se comporta uma onda eletromagnética?
- c) Quais os tipos de onda eletromagnética? Como obtê-las
- d) Quais as aplicações para cada tipo de onda eletromagnética?

Para os temas não se tornarem repetitivos, é sugerido que o professor organize as equipes para que cada uma fique com uma pergunta ou conjunto de perguntas específicas. Se achar necessário, o professor pode acrescentar outras perguntas às propostas acima.

AULA 6 – Apresentação por parte do professor do espectro eletromagnético, resgatando suas características. Depois, com o uso de um vídeo curto sobre o Efeito Fotoelétrico, será apresentada a descoberta de Hertz. A discussão em sala deve levar os estudantes a refletirem sobre possíveis respostas ao problema.

AULA 7 – Apresentação da solução proposta por Einstein, de que a luz é composta por partículas, mais tarde chamadas de fótons. Deve ser resgatada a relação de Planck para o Corpo Negro, com a ampliação da ideia de quantização.

AULA 8 – Discussão da dualidade onda-partícula com o artigo “Onda ou partícula? Uma questão de interpretação”, do físico Adilson de Oliveira. Os estudantes devem

ler o artigo em duplas, fazer as devidas observações e depois ao professor caberá a tarefa de encaminhar as discussões mediante uma leitura geral do mesmo.

AULA 9 – Espectroscopia

- a) Mostrar fontes de luz diferentes: lâmpada incandescente, lâmpada de led, lâmpada de luz negra e ainda uma vela comum. Como é a emissão para cada fonte de luz?
- b) Fazer a relação com as aulas sobre Evolução Estelar, levando em consideração aspectos como a obtenção da informação por astrônomos sobre as características de uma estrela, por exemplo.
- c) Mostrar, de preferência em slides, os espectros de luz para cada tipo de fonte citada.
- d) Explicar os tipos de espectros: absorção e emissão.
- e) Encorajar os estudantes a identificarem no dia a dia a presença de fenômenos ligados à espectroscopia para serem discutidos na aula seguinte.

- AULA 10 – Depois de rápida discussão sobre as observações cotidianas, o encaminhamento da aula deve levar à Classificação Espectral de Harvard para as estrelas, unindo dessa forma aspectos da Radiação de Corpo Negro, Efeito Fotoelétrico (captação da luz) e Espectroscopia. Em casa, os estudantes devem pesquisar sobre os temas.

- AULA 11 – Em duplas, avaliar e organizar o conhecimento dos estudantes mediante a aplicação de cinco perguntas:

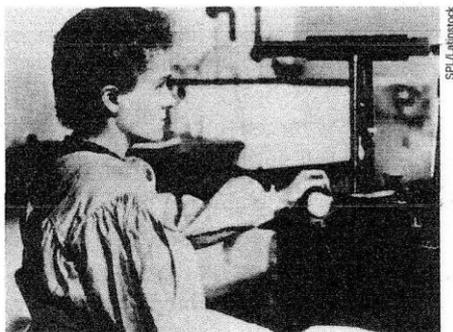
- a) Qual a diferença na obtenção de espectros de emissão contínuos e espectros de emissão discretos?
- b) Quais são as características de um espectro de emissão discreto?
- c) Como são gerados os espectros de absorção?
- d) Como se pode distinguir um espectro de emissão discreto de um espectro de absorção?
- e) Comente a importância das investigações de Joseph von Fraunhofer, Gustav Kirchhoff e Robert Bunsen para a compreensão da composição química e das propriedades físicas dos astros celestes.

ANEXOS

ANEXO 1- ATIVIDADE DE COMPREENSÃO DO TEXTO

O prêmio Nobel e Madame Curie

A construção da Física moderna contou com a participação de várias mulheres em suas descobertas. A mais famosa delas foi Marie S. Curie (1867-1934), cientista de origem polonesa que estudou e trabalhou em Paris no início do século XX. Além de pesquisadora, foi professora e participou ativamente da Primeira Guerra Mundial, instalando equipamentos de raios X nos hospitais das frentes de guerra francesas.



Marie Curie medindo radioatividade em seu laboratório. Fotografia feita entre 1897 e 1899.

Em 10 de dezembro de 1896, o industrial Alfred Nobel morreu, deixando sua fortuna (em 1867, ele havia patenteado a dinamite) para ser administrada pela Academia sueca, para distribuir prêmios às realizações notáveis em literatura, medicina, física, química e paz. [...] O primeiro Prêmio Nobel de Física foi concedido a Roentgen em 1901. Naquele ano e no próximo, Marie Curie, Pierre Curie e Henri Becquerel foram indicados por Charles Bouchard, um médico com direito vitalício de indicação, mas o prêmio de Física foi para H. A. Lorentz e Pierre Zeeman, por suas pesquisas na “influência do magnetismo sobre os fenômenos da radiação”. Isso foi desapontador, porque Pierre Curie havia estabelecido grande parte da base daqueles estudos. No ano seguinte, num exemplo impressionante do que era ser uma mulher em ciência, um machismo odioso eliminou qualquer pretensão de que Marie Curie viesse a ser aceita em termos de igualdade.

Quatro cientistas influentes colaboraram em uma carta oficial indicando Pierre Curie e Henri Becquerel

para o Prêmio Nobel de Física de 1903. Marie Curie não foi mencionada. A carta continha um relato distorcido da descoberta do polônio e do rádio. Afirmava que aqueles dois homens, competindo com rivais estrangeiros, haviam “trabalhado juntos e separadamente para procurar, com alguma dificuldade, alguns decigramas daquele material precioso”. Isso apesar do fato de as descobertas espantosas de Marie Curie serem conhecidas por toda a comunidade científica e de três dos quatro homens que assinaram a carta terem se envolvido no trabalho dela e saberem muito bem a quem cabia o mérito. [...]

Especulou-se que Becquerel influenciara os cientistas para que sua própria participação fosse aumentada na carta. Um membro da comissão de ciência do Nobel, Magnus Costa Mittag-Leffler, matemático famoso e editor-chefe de *Acta Mathematica*, acreditava que as mulheres que faziam ciência não eram devidamente reconhecidas e deplorou a omissão de Marie Curie da carta de indicação. Para sondar o clima, escreveu uma carta particular a Pierre Curie informando-o da situação. Pierre respondeu que, se aquela indicação era real, ele não poderia aceitar o prêmio sem que a comissão do Nobel incluísse Marie Curie. Munido da resposta de Pierre, Mittag-Leffler exerceu sua influência considerável para exigir que o nome de Marie Curie fosse acrescentado à carta de indicação. Certos membros antagônicos da comissão alegaram que aquilo era impossível, pois a carta de indicação havia sido protocolada. Foi aí que Charles Bouchard lembrou à comissão que aquilo não era bem verdade, já que ele havia incluído Marie em suas nomeações para o Prêmio Nobel de 1901 e 1902. Àquela altura, a política da comissão estava tão desmoralizada que enfim o nome de Marie Curie foi acrescentado ao prêmio [...].

Atualmente um prêmio Nobel é famoso, mas naquela época esses prêmios eram conhecidos dentro da comunidade científica e valorizados pelos 70 mil francos-ouro concedidos ao premiado. [...] Becquerel recebeu seus 70 mil francos-ouro, mas Marie e Pierre, como se fossem uma só pessoa, compartilharam esse mesmo montante.

GOLDSMITH, B. *Gênio obsessivo: o mundo interior de Marie Curie*. São Paulo: Companhia das Letras, 2006. p. 92-94.

Compreender e relacionar

1. Quais foram as descobertas realizadas por Pierre e Marie Curie?
2. As descobertas dos Curie foram realizações experimentais ou teóricas? Justifique.
3. Identifique as outras descobertas que ganharam prêmio Nobel em Física nos anos de 1901 e 1902.
4. Levante hipóteses sobre os motivos que fizeram Marie Curie ser ignorada na indicação do Prêmio Nobel.
5. Do seu ponto de vista, existe algum tipo de preconceito no meio científico na atualidade? Cite argumentos defendendo sua posição.

Agora, faça uma pesquisa sobre a presença e as contribuições das mulheres na ciência, dando ênfase à Física e em particular à Física Nuclear. Apresente suas conclusões em um texto coeso, seguindo regras mínimas de redação. Para uma maior contextualização do trabalho, acesse o link com um artigo sobre o tema: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R1273-1.pdf>

Ou ainda procure o artigo na internet com o título “*Questões de gênero na ciência e na educação científica: uma discussão centrada no Prêmio de Física de 1903*”, escrito por Marinês Domingues Cordeiro. **Bom trabalho!**

ANEXO 2

TEXTOS PARA A CONSTRUÇÃO DO MAPA CONCEITUAL

TEXTO 1 - Nascimento, vida e morte de uma estrela – Site *Mistérios do Universo* - <https://www.misteriosdouniverso.net/2014/04/nascimento-vida-e-morte-de-uma-estrela.html>

Aqueles pontinhos cintilantes que decoram nossos céus, são na verdade magníficas usinas termonucleares espalhadas pela malha espaço-tempo do Universo. As estrelas são corpos compostos de plasma luminoso superaquecido, estabilizado pela gravidade e pressão. Elas possuem uma variedade de tipos, tamanhos, massas e temperaturas.

Estima-se que o número total de estrelas no Universo seja de 100.000.000.000.000.000.000. À noite, quando atmosfera da terra deixa de refletir os raios solares, vemos 8.500 estrelas a olho nu e, usando telescópios ou lunetas, vemos outra infinidade delas.

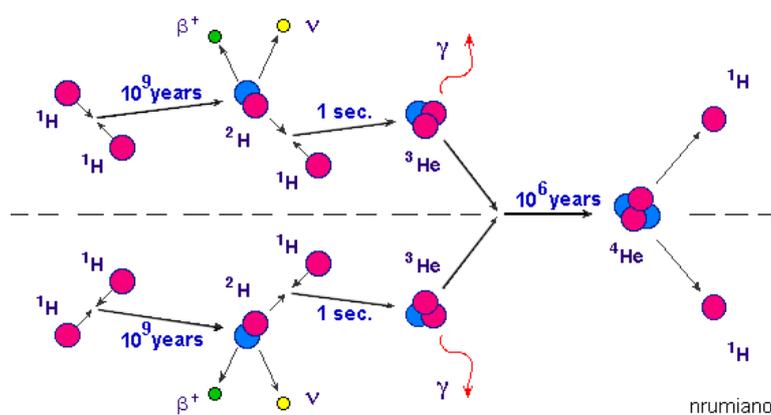
Formação estelar

A formação de estrelas bem como sua evolução é um evento natural e constante desde que o Universo começou a sintetizar os átomos nos primeiros instantes após o Big Bang.

Inicialmente, nasce um aglomerado frio (cerca de 10-20 k) de poeira e gás acumulados e contraídos em pontos específicos devido a força de atração gravitacional, essa nuvem é chamada de Nuvem Molecular.

Com o passar do tempo (1000 anos depois), a temperatura do gás gradativamente aumentará e as colisões entre os átomos aumentará a temperatura para milhões de graus. Essa Nuvem Molecular continua a colapsar, aumentando cada vez mais a sua temperatura, e conseqüentemente, de acordo com a lei dos gases perfeitos ($PV=NRT$), aumenta também sua pressão interna.

Devido a estes constantes choques, e a densidade aumentada, os núcleos de hidrogênio entram em fusão nuclear.

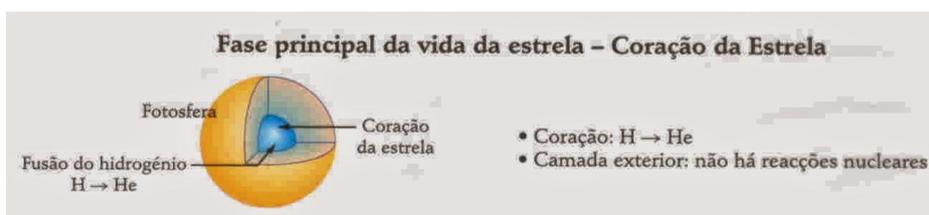


Essa reação termonuclear expulsará então uma energia em forma de luz e calor por todo o sistema da estrela. Quanto mais a estrela emitir luminosidade, ou seja, emitir energia, menos tempo ela durará. Esta reação dá-se no coração das estrelas e a equação global pode representar-se por:

Energia = $6,43 \times 10^{11}$ J/g de He produzido!

Dependendo de sua massa inicial, a estrela irá formar outras à medida que a mesma se extinguir.

Quando a pressão interna do núcleo é bem mais que a força de atração gravitacional, a estrela entra em um colapso no final de sua vida, quando todo o hidrogênio se esgotar (na verdade, apenas 10 % dele).



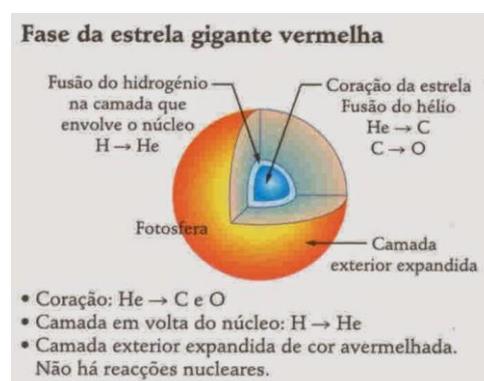
Estrelas com massa tipo solar ($1.0 m_{\odot}$)

Em seu estágio inicial (protoestrela), a pressão interna aumenta sua expansão e sua temperatura diminui. A partir daí, a quantidade de matéria dentro da nuvem

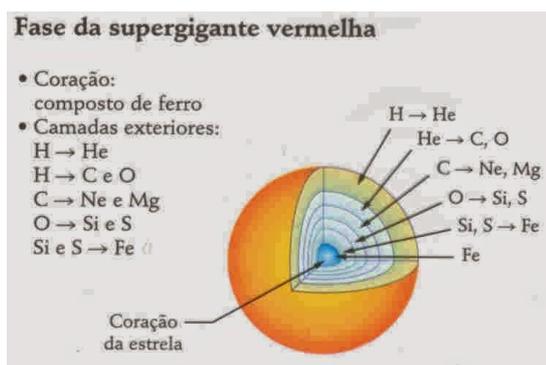
compactada pela gravidade oriunda do material existente ali, forma a Sequência Principal (onde há conversão de H em He), como o nosso Sol. Depois, surge a estrela de He resultante, a **Gigante Vermelha**. Posteriormente, os processos gravitacionais passam a converter o He em Carbono (C) e Oxigênio (O), o que aumenta seu tamanho, tornando-a uma **Supergigante Vermelha**. Quando os elementos se fundem novamente em nucleossíntese estelar, a Gigante Vermelha torna-se uma nebulosa planetária, composta de ferro (Fe) e carbono (C), porém muito pouco densa, em seguida a estrela torna-se em uma **anã branca** e depois desaparece, morrendo no espaço frio.

Estrelas da Sequência Principal

A sequência principal é uma curva no **Diagrama de Hertzsprung-Russell**, mais exatamente uma faixa, onde a maior parte das estrelas está localizada. Estrelas localizadas nesta faixa são chamadas de estrelas de sequência principal. As mais frias são chamadas de **anãs vermelhas**[1]. Antes que a estrela se torne uma **subgigante**[2]ou **Gigante Vermelha**.



Fase da Gigante Vermelha



Fase da Supergigante Vermelha

Estrelas de massa intermediária (Cerca de 8+/- 12 m_{\odot})

Ocorre que o carbono sintetizado no núcleo age como um catalizador dando ignição a uma explosão ou um colapso gravitacional (desintegração do Fe). Quando o núcleo atinge o limite de **Limite de Chandrasekhar** (1.44 m_{\odot}) inicia-se a queima de carbono a 10 trilhões de K. Temperatura suficiente para transformar o Hélio em Carbono (Explosão termonuclear). Depois disso os núcleos entram em colapso. Elementos mais pesados (Fe por exemplo), são convidados a se aglomerar no centro de massa da estrela, por ação da força de atração gravitacional que leva os elementos mais densos para o centro.

Com isso a estrela expulsa 99% do material da sua superfície. A energia (pressão e temperatura) se torna maior que sua gravidade. Então, a estrela dispersará em uma Supernova.

Estrelas com massa 15-25 M_{\odot} (*Massa Intermediária*)

Ela explode em uma supernova do Tipo II. A Supernova terá massa e pressão suficiente para fundir o carbono. O que resta é um objeto ultradenso chamado de estrela de nêutrons ou um buraco negro.

Quando a protoestrela é muito mais massiva que o Sol (20 a 100 massas solares), elas evoluem para as chamadas estrelas Wolf-Rayet. Essa fase não chega

a explodir em supernova, porém são altamente instáveis. Elas entram diretamente em um colapso gravitacional, transformando-se em objetos chamados buracos negros. Os buracos negros são corpos onde a gravidade é tão intensa que nem a própria luz escapa.

[1] Uma estrela **anã-vermelha**, de acordo com o Diagrama de Hertzsprung-Russell é uma estrela pequena e relativamente fria da sequência principal. O seu tipo espectral pode ser K ou M. As anãs-vermelhas constituem a vasta maioria das estrelas e sua massa é menor que a metade da massa do Sol (entre 0,075 e 0,5 massas solares). A temperatura de superfície é menor que 3500K.

[2] Subgigantes são estrelas que são mais brilhantes que a da sequência principal e menos brilhantes que as Gigantes Vermelhas

TEXTO 2 – Professor Alaor Chaves – Site Observatório UFMG

<http://www.observatorio.ufmg.br/Pas104.htm>

A gravitação leva a um universo estruturado

A formação de grandes estruturas no Universo é causada e determinada pela força gravitacional. Ela é a mais fraca das quatro forças fundamentais da natureza. Mas seu alcance é longo, pois a força de atração gravitacional entre dois corpos cai com o inverso do quadrado da distância entre eles. Se dobrarmos a distância, a força fica 4 vezes menor, se multiplicarmos a distância por 3 a força fica 9 vezes menor, e assim por diante. Pode parecer que esse decréscimo da força com a distância seja muito rápido, mas isso não é verdade. As duas forças nucleares existentes (força nuclear forte e força nuclear fraca) tornam-se praticamente nulas quando a distância entre as duas partículas ultrapassa um centésimo de bilionésimo de milímetro. A força elétrica também cai com o inverso do quadrado da distância, e é muito mais intensa do que a força gravitacional. Para se estabelecer uma comparação entre a intensidade destas duas forças, consideremos as forças de atração entre um próton e um elétron. A atração elétrica entre as duas partículas é cerca de 10^{40} (o número 1 seguido de 40

zeros) vezes mais intensa do que a força gravitacional. A força elétrica é o que agrega prótons e elétrons para formar os átomos, e os átomos para formar moléculas, sólidos e líquidos. Mas uma propriedade da força elétrica a torna muito menos efetiva do que a força gravitacional quando consideramos a interação entre corpos macroscópicos. Consideremos João e Maria se encontrando e trocando um aperto de mão. Cada partícula do corpo de João atrai gravitacionalmente cada outra partícula do corpo de Maria, a soma de todas essas forças é menor do que o peso de um pequeno grão de areia. As cargas de sinais contrários dos dois corpos se atraem muito intensamente, mas as cargas de mesmo sinal se repelem com igual intensidade. Como a diferença entre o número de prótons e o de elétrons nos corpos macroscópicos é percentualmente muito pequeno, quase sempre a força elétrica entre eles pode ser ignorada. Mas se um bilionésimo dos elétrons do corpo de João fosse transferido para o corpo de Maria, os dois se atrairiam com uma força elétrica equivalente ao peso de uma pequena montanha.

O fato de que a força elétrica pode ser tanto atrativa como repulsiva, ao passo que a força gravitacional é sempre atrativa, torna o efeito dessas duas forças cada vez mais distinto à medida que as massas dos corpos aumentam. O Sol atrai a Terra com força suficiente para mantê-la em órbita, embora a distância entre Sol e Terra seja de 150 milhões de quilômetros. As estrelas da nossa galáxia, a Via Láctea, mantêm-se agrupadas pelo efeito da força gravitacional, embora o diâmetro da galáxia seja cerca de 100.000 anos-luz. Toda a estrutura em larga escala do Universo é determinada pela força gravitacional. O Big Bang que criou o Universo não gerou um gás com densidade inteiramente uniforme. As variações de densidade de massa de um local para outro foram pequenas, de apenas uma parte em 100.000. Mas isso foi o bastante para que as regiões mais densas se transformassem em galáxias e aglomerados de galáxias, e que dentro das galáxias o gás primordial se aglomerasse para formar estrelas.

Se não for contrabalançada por alguma outra força, a força gravitacional que agrega o gás em uma estrela fará que ela se encolha cada vez mais, até atingir dimensão nula, ou pelo menos menor do que qualquer coisa acessível à nossa experiência. Assim, as estrelas atingem uma dimensão que é o resultado do balanço entre a força gravitacional e forças repulsivas de duas naturezas distintas que atuam em seu interior e que descreveremos mais adiante (em estrelas de enorme massa,

uma terceira força contrária à da gravitação entra em cena, mas não a discutiremos nesse artigo). A importância relativa de cada uma dessas duas forças depende da massa da estrela e do seu estágio de evolução. Quando o gás se agrega para formar uma nova estrela, ele se aquece (do mesmo modo que o gás que comprimimos para injetar no pneu de uma bicicleta). Se sua massa for no mínimo 8% da massa solar, o seu núcleo atinge temperatura suficiente para acender sua fornalha nuclear, ou seja, suficiente para que ocorra a fusão de prótons, que são o núcleo do átomo de hidrogênio, para formar partículas alfa, que são o núcleo do átomo de hélio-4.

TEXTO 3 – Por Silvia Ribeiro Calbo – CDCC – USP

<http://www.cdcc.usp.br/cda/sessao-astronomia/seculoxx/textos/a-evolucao-estelar.htm>

Todos os elementos químicos da tabela periódica até o Ferro foram sintetizados por estrelas! O processo de produção cessa no Ferro pelo fato dele manter a sua configuração atômica ainda estável dentro de uma estrela. Devido as condições de pressão e temperatura numa estrela, nós não identificamos a presença de chumbo, de ósmio, de ouro, ou até mesmo de urânio. Esses átomos não conseguem existir nessas condições. Uma quantidade excessiva de Ferro, no interior de uma estrela, leva-a a um processo crítico de colapso. O que é esse colapso? O processo de fusão nuclear no interior da estrela começa gerando hélio a partir de hidrogênio. Em etapas sucessivas, na evolução da estrela ela segue para reações de fusão nuclear mais violentas, pois numa certa hora o hidrogênio será muito menor que a quantidade de hélio. Como o hélio gerado é mais denso que o hidrogênio, aos poucos ele vai ocupando a parte central do núcleo da estrela e o hidrogênio remanescente será apenas uma casca – tal qual uma laranja. Chegará um momento em que o hidrogênio cessará a sua fusão – não há mais hidrogênio: logo a parte superior da estrela cai sobre o núcleo de hélio. A pressão sobe a temperatura sobe e então, a estrela atinge a condição necessária para ocorrer a fusão do hélio gerando elementos mais pesados. Essa sequência segue até o limite da produção de átomos de Ferro. Quando a estrela cessar esse processo de produção de Ferro o que acontece? O mesmo que na etapa inicial de hidrogênio para o hélio! A estrela não liberando mais energia, a parte superior, acima do núcleo estelar rico em Ferro o pressiona violentamente. A pressão

é tremenda e simplesmente um elétron consegue juntar-se com um próton. Esses dois constituintes atômicos quando juntos geram uma explosão terrível liberando uma quantidade enorme de energia em muito superior às das famosas bombas atômica e nuclear sobre Hiroshima e Nagasaki durante o final da Segunda Guerra Mundial.

Essa energia fantástica liberada produz a Supernova e o brilho resultante dessa explosão pode equivaler ao brilho total de todas as estrelas de uma galáxia. Depois desse caos tremendo, a temperatura diminui e os resíduos da explosão começam a se reagrupar. Num momento, toneladas de ouro, cobre, prata, mercúrio, ferro, ósmio e chumbo são fabricados.

Em 1967, com um radiotelescópio construído como parte de sua dissertação de PhD na Universidade de Cambridge na Inglaterra, Jocelyn Bell detectou um conjunto rápido de pulsos que se repetiam num intervalo de 1.33s. Alguns meses depois ela descobriu outras fontes de rádio e publicou os dados em conjunto com o seu orientador, Anthony Hewish na revista *Nature*. Hewish acabou ganhando, sozinho o prêmio Nobel de 1974 pela descoberta dos pulsares de Bell.

Estes enigmáticos pulsares foram identificados por Thomas Gold em 1968 como sendo estrelas extremamente massivas com campos magnéticos intensos girando sobre seus próprios eixos de rotação. Hoje eles receberam o nome de estrelas de nêutrons. São corpos com apenas 10-20 Km de diâmetro e uma densidade absurda de 10^{15} g/cm³.

Mas como os pulsares ou estrelas de nêutrons estão relacionados com a evolução estelar, ou seja, que fase da vida de uma estrela que eles representam? A descoberta de um pulsar na nebulosa do Caranguejo nos forneceu a explicação. Pois esta nebulosa é uma remanescente de Supernova, ou seja, restos de uma estrela que expeliu suas camadas externas numa devastadora explosão. Mas curiosamente a estrela sobreviveu, pois podemos escutar o seu coração bater, ou seja, detectamos os pulsos que ela emite (com uma potência de 75 000 sóis).

Estrelas com mais de 2.5 massas solares terão massa o suficiente para colapsarem em buracos negros. A hipótese de o Buraco Negro ser um objeto extremamente massivo com um campo gravitacional tão intenso que nem mesmo a luz escapa é antiga (certamente anterior ao século XX). Como um objeto pode ser denso o suficiente para reter a luz? A teoria da relatividade geral de Einstein forneceu a resposta, logo após a publicação da teoria do astrofísico Schwarzschild (1916) de

que o raio de um buraco negro de uma massa solar teria no máximo três quilômetros. Qualquer objeto de qualquer massa pode se tornar um buraco negro se uma força o comprimir o suficiente. Porém, um corpo com mais de três massas solares terá obrigatoriamente que se tornar um buraco negro após as reações termonucleares cessarem, pois é a única forma de pressão que poderá suportá-lo. É isto que ocorre com estrelas muito massivas.

Como detectamos um buraco negro se não podemos vê-lo? É através das perturbações que causa na órbita de estrelas vizinhas principalmente quando se encontra em um sistema binário. O candidato mais conhecido é Cygnus X-1 descoberto em 1971. Consiste de uma estrela supergigante extremamente quente e um objeto compacto a orbitando com uma massa maior que cinco massas solares possivelmente um buraco negro.

ANEXO 3**É POSSÍVEL UMA TEORIA DE TUDO?**

Adaptado de:

“Físicos buscam a teoria do campo unificado”, do Marcelo Gleiser

<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/1997/10/26/mais!/42.html>

“Em busca de uma teoria final”

<http://itec.if.usp.br/~rivelles/Seminars/supercordas/ciencia55.htm>

Por que os cientistas gostam tanto de uma teoria? A resposta é mais simples do que parece. Teorias organizam, de forma concisa e precisa, fatos que são observados no laboratório e fora dele. Uma boa teoria deve ser capaz de explicar uma série de fenômenos observados na natureza e também de prever a existência de novos fenômenos a serem observados no futuro.

Podemos, por exemplo, contrastar a teoria da gravitação universal de Newton e a da relatividade geral de Einstein. Apesar de ambas tratarem do fenômeno gravitacional, elas o fazem de modo distinto.

Enquanto a teoria de Newton descreve a gravitação como uma "ação à distância", ou seja, como uma força que atravessa (misteriosamente) o espaço vazio, Einstein propôs que a gravitação pode ser explicada por meio de um tratamento geométrico, em que a presença de um corpo maciço deforma a geometria do espaço à sua volta.

A geometrização do fenômeno gravitacional e seu sucesso teve um profundo impacto no resto da vida de Einstein. Se a gravitação pode ser explicada elegantemente por uma descrição puramente geométrica, por que não o eletromagnetismo, a única outra força que, como a gravitação, também tem longo alcance?

Até sua morte em 1955, Einstein procurou por uma formulação geométrica que não só explicasse os fenômenos eletromagnéticos, mas também os unificasse

com a gravitação. Uma teoria unificada da gravitação e do eletromagnetismo trata fenômenos gravitacionais e eletromagnéticos como manifestação de uma única força, ou mais precisamente, de um único campo, o campo unificado. A cada força está associado um campo. Se colocarmos um prego perto de um ímã, sentimos a presença do campo magnético criado. Campo é uma manifestação espacial da presença de uma certa fonte.

Um dos maiores desafios da Física moderna é desenvolver uma teoria que descreva de forma unificada todos os fenômenos do Universo. O grande obstáculo é a incompatibilidade entre duas das principais teorias físicas deste século, a relatividade geral e a mecânica quântica.

Ao sintetizar teorias que pareciam antagônicas, os cientistas conseguem descrever um número maior de fenômenos com menos hipóteses e também prever fenômenos futuros. Newton, por exemplo, baseado em sua teoria, previu a data exata do retorno do cometa Halley. O físico alemão Albert Einstein (1879-1955), segundo seu biógrafo Abraham Pais (em *Einstein Viveu Aqui*, Nova Fronteira, 1997, Rio de Janeiro), disse que a teoria física tem dois anseios: englobar o máximo possível de fenômenos e suas conexões e alcançar isso com base no menor número possível de conceitos independentes e relações arbitrariamente pressupostas.

O objetivo fundamental da unificação de teorias físicas é, portanto, obter modelos mais eficazes para explicar e controlar a natureza. Foi o que Einstein obteve em 1915 ao formular a relatividade geral: uma teoria da gravitação mais abrangente que a de Newton.

A ideia de unificação é fundamental em física. O poder ou eficácia de uma teoria pode ser medido pela quantidade de fenômenos diversos que ela pode explicar. Newton unificou a física dos fenômenos gravitacionais celestes com a dos fenômenos gravitacionais terrestres. No século 19, Faraday, Maxwell e outros mostraram que fenômenos elétricos e magnéticos podem ser descritos conjuntamente pelo campo eletromagnético.

Apesar de Einstein ter falhado em sua missão, sua influência permanece viva até hoje. A ideia de unificação de forças é uma das mais populares entre físicos teóricos do mundo inteiro. Ao eletromagnetismo e à gravitação são adicionadas duas outras forças, que se manifestam apenas a distâncias subatômicas, que são as forças nucleares forte e fraca.

AS QUATRO FORÇAS DESCREVEM, EM PRINCÍPIO, TODOS OS FENÔMENOS OBSERVADOS, DESDE ESCALAS MICROSCÓPICAS ÀS MACROSCÓPICAS. PORTANTO, A "TEORIA DE TUDO" UNIFICARIA AS QUATRO FORÇAS FUNDAMENTAIS EM APENAS UMA, A FORÇA UNIFICADA. ESSA UNIFICAÇÃO SE MANIFESTA APENAS A ENERGIAS EXTREMAMENTE ALTAS, MUITO MAIS ALTAS DO QUE NÓS PODEMOS TESTAR NOS LABORATÓRIOS ATUAIS. POR TRÁS DA REALIDADE FÍSICA, APENAS VISÍVEL A ENERGIAS ALTÍSSIMAS, EXISTE UMA OUTRA REALIDADE, EM QUE TUDO É MANIFESTAÇÃO DE UM CAMPO UNIFICADO. EM SUA INTIMIDADE, A NATUREZA É EXTREMAMENTE SIMPLES.

Duas teorias

incompatíveis

E, em 1915, lançou a teoria da descoberta de buracos negros relatividade geral, mostrando que a arrastando o espaço-tempo ao seu redor, o que comprovava previsões de um corpo deforma o espaço e o tempo a seu redor. Essa feitas a partir da relatividade geral 80 (1858-1947), segundo a qual a tese foi comprovada alguns anos antes, quando ainda não havia energia não se propaga num fluxo depois num eclipse solar em Sobral, incompatibilidade com a teoria contínuo, mas por meio de pequenos no Ceará: comparando-se posições quântica.

A mecânica quântica nasceu em gravidade de um corpo deforma o redor, o que comprovava previsões de 1900, com a teoria de Max Planck espaço e o tempo a seu redor. Essa feitas a partir da relatividade geral 80 (1858-1947), segundo a qual a tese foi comprovada alguns anos antes, quando ainda não havia energia não se propaga num fluxo depois num eclipse solar em Sobral, incompatibilidade com a teoria contínuo, mas por meio de pequenos no Ceará: comparando-se posições quântica.

A teoria Quântica pode descrever pacotes de energia, os quanta. Isso de estrelas ao redor do sol antes e A teoria Quântica pode descrever permitiu dois avanços: a proposição durante o eclipse, constatou-se que, formalmente três das quatro forças de Albert Einstein, em 1905, de que vistas aqui, elas pareciam estar fundamentais: eletromagnética, forças a luz também se propagaria por meio mais próximas devido à passagem fraca e forte. Mas a força de pacotes de energia e o modelo dos raios de luz delas perto do campo gravitacional não possui ainda um atômico do dinamarquês Niels Bohr gravitacional do sol. formalismo quântico, não podendo ser (1892-1987).

A relatividade geral inspirou outras definida de forma clara e exata como Ainda em 1905, Einstein formulou a teorias, como a da expansão do as outras, que podem ser descritas na teoria da relatividade restrita, Universo, pelo norte-americano forma da teoria quântica de campos. baseada na proposição de que Edwin Hubble (1889-1953), em Outro problema, é o fato de que a nenhum corpo pode alcançar 1929, e a da formação dos buracos Teoria Quântica não é determinista, velocidade superior à da luz no negros pelo indiano-norte-americano ou seja, não permite o cálculo preciso vácuo (300 mil km/s). Depois, Subrahmanyam Chandrasekhar da posição de uma partícula, como mostrou a equação $E=mc^2$ (energia é (1910- 1995), em 1931. Em 1997, profbe o Princípio de Incerteza de igual à massa multiplicada pelo Wei Cui, do Instituto de Tecnologia Heisenberg. Por outro lado, a Teoria quadrado da velocidade da luz).

de Massachusetts, e colaboradores da Gravitação é determinista, da Nasa, a agência espacial dos tornando difícil sua unificação. Estados Unidos, anunciaram a

A ideia de unificação das quatro forças fundamentais não é absurda nem influenciada por tendências monoteístas, como pode parecer. Já conseguimos unificar as forças eletromagnética e fraca, conforme comprovado experimentalmente em 1983 por Carlo Rubia e seu time em Genebra, baseados em previsões teóricas de S. Glashow, A. Salam e S. Weinberg. A energias cerca de mil vezes maiores que as nucleares, as forças eletromagnética e fraca se manifestam como uma única força, a eletrofraca. O próximo passo é incluir a força nuclear forte e, eventualmente, a gravitação nessa unificação. Talvez a visão de Einstein não tenha sido apenas uma fantasia.

RESPONDA

1- De acordo com os fragmentos do texto e seu conhecimento sobre as ciências naturais descreva em poucas palavras o que é uma teoria física (científica).

2- Explique, com suas palavras, o conceito de campo.

3- O texto compara a teoria de Isaac Newton para a gravidade com a proposta por Einstein quase trezentos anos depois. Cite pelo menos uma ideia de qualquer área da ciência (Física, Química e Biologia) na qual um mesmo fenômeno foi explicado por teorias diferentes.

4- Quais as quatro forças fundamentais do universo?

5- Quais as vantagens de se ter uma teoria unificada? Cite pelo menos um exemplo de unificação ao longo da História da Ciência.

6- Duas das grandes teorias atuais da física são a Mecânica Quântica e a Relatividade Geral. Explique, com suas palavras, a incompatibilidade entre elas.

O INÍCIO DE UMA MODERNA REVOLUÇÃO

O final do século 19 e começo do 20 foi uma época de fortes mudanças culturais e científicas, principalmente na Europa. Na transição entre esses séculos, vários movimentos artísticos e culturais deram início ao período que ficou conhecido como modernismo, no qual surgiram grandes transformações nas formas de se expressar por meio da literatura, teatro e artes em geral.

Artistas plásticos como Pablo Picasso (1881-1973) e Henri Matisse (1869-1954) e escritores como James Joyce (1882-1941) e Franz Kafka (1883-1924) fizeram uma ruptura com a forma tradicional da arte e criaram novos estilos e paradigmas. No Brasil, que tem como marco do modernismo a Semana de Arte Moderna de 1922, Tarsila do Amaral (1886-1937), Mário de Andrade (1893-1945) e Oswald de Andrade (1890-1954), entre outros artistas, também revolucionaram os padrões estéticos na literatura e arte.

Talvez por coincidência (ou não), essa foi a época em que aconteceram as maiores revoluções na física, que romperam de forma brusca os modelos existentes. Ao final do século 19, a física atingiu um grau de maturidade que dava a impressão de que pouco havia para ser descoberto e que os novos resultados experimentais apenas levariam ao aprimoramento das teorias vigentes.

É atribuída ao grande físico do século 19 Lorde Kelvin (1824-1907) a citação: “Havia apenas duas nuvens no céu da física.” Kelvin se referia aos resultados que se mostravam contraditórios aos modelos da física clássica. A primeira nuvem significava a não-detecção de um meio material para a propagação da luz. Diversos experimentos realizados não haviam obtido sucesso na tarefa. A segunda nuvem se relacionava com o problema da teoria que explicava a capacidade térmica dos materiais, conhecida como “princípio da equipartição da energia”, que se encontrava claramente em desacordo com os novos resultados experimentais que surgiam na época.

Kelvin, em 1901, percebeu que de certa forma a física clássica estava atingindo o seu limite e que necessitaria de um novo avanço. Como sabemos, essas nuvens se

transformaram em verdadeiras tempestades que modificaram completamente a paisagem da física, influenciando-nos de maneira profunda até os dias atuais.

O primeiro dos problemas apresentados por Kelvin seria resolvido com a teoria da relatividade proposta pelo físico Albert Einstein (1878-1957) em 1905, que já abordamos em outros textos. A solução do segundo está associada com o surgimento da física quântica.

O nascimento da física quântica

Uma situação bastante comum é a emissão de radiação eletromagnética (luz) por um corpo aquecido. Essa emissão ocorre em um largo espectro contínuo de frequências e apresenta um nível máximo que depende da temperatura do corpo que está emitindo.

Os nossos corpos, que normalmente estão na temperatura de 36°C , têm esse máximo na região conhecida como infravermelho. É essa faixa de radiação que nos permite ter a sensação térmica de “calor”. Atualmente existem muitas câmeras que conseguem filmar com ausência de luz, justamente captando essa radiação dos corpos.

Um pedaço de ferro, por exemplo, quando aquecido a uma temperatura da ordem de 600°C , começa a adquirir uma coloração avermelhada. Já em um forno de uma indústria siderúrgica, ele apresenta uma cor azulada em temperaturas mais elevadas. A superfície do Sol, que está na temperatura de aproximadamente 6.000°C , emite radiação na faixa do espectro visível, incluindo também o infravermelho e o ultravioleta (que sabemos ser prejudicial a nossa pele se recebido em grandes quantidades).

O aspecto curioso é que a “cor” que os corpos adquirem ao serem aquecidos dessa maneira não depende do material de que eles são constituídos, mas apenas da temperatura.

No entanto, a máxima frequência que o corpo emite não pode ser explicada pela física clássica. Para haver concordância entre os resultados experimentais e a teoria foi necessário introduzir um novo conceito na física, que levou a uma das suas mais importantes revoluções.

A introdução do conceito do quanta

Em dezembro de 1900, o físico alemão Max Planck (1858-1957) propôs uma expressão para explicar o comportamento da emissão de radiação de um corpo negro. Para tal, ele sugeriu que a energia emitida pelo corpo seria um múltiplo de um número inteiro multiplicado pela frequência da radiação e por uma constante (que posteriormente foi chamada de constante de Planck). Sem nos apegarmos aos detalhes matemáticos dessa expressão, Planck propôs, pela primeira vez, que a energia era emitida de maneira discreta ou, como dizemos atualmente, de forma “quantizada”.

Na época, a proposta de Planck não causou grande impacto. Somente em 1905, quando Albert Einstein introduziu o conceito de “quanta de luz” (fóton), é que essa teoria ganhou mais força. Na proposta de Einstein, a luz (e qualquer forma de radiação eletromagnética) se comporta como se fosse pequenos pacotes de energia, proporcionais à constante de Planck.

Com essa hipótese, Einstein pôde explicar o chamado efeito fotoelétrico, segundo o qual quando iluminamos um metal com luz em uma determinada frequência surge uma corrente elétrica. Einstein pôde explicar por que a corrente somente aparecia para uma determinada frequência. O efeito fotoelétrico é aplicado em muitos sensores, por exemplo, nas células fotoelétricas que controlam o acendimento das lâmpadas na iluminação pública.

Conceito fundamental na natureza

A constante de Planck é uma das constantes fundamentais da natureza. Devido ao seu pequeno valor ($6,6 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/s}$), faz com que os fenômenos quânticos sejam apenas percebidos na escala do átomo. A descoberta de Planck é considerada por muitos historiadores como o início da física quântica.

A proposta de Planck também concorda muito bem com os resultados experimentais quando se observa a radiação residual do universo quando ele tinha aproximadamente 300 mil anos de idade, chamada de “radiação de fundo cósmico”. Essa radiação é a prova mais forte de que houve o evento do Big Bang, que teria dado início ao universo que conhecemos hoje.

Descoberta pelos físicos Arno Penzias (1933-) e Robert Wilson (1936-) em 1964, essa radiação equivale a uma temperatura de aproximadamente 2,7 K (-270°C). Na década de 1990, foi feito um levantamento dessa radiação em função de sua frequência pelo satélite Cobe, da Nasa. Os resultados obtidos concordam com enorme precisão com a expressão obtida por Planck.

Quando Planck propôs sua expressão para explicar a emissão de radiação de um corpo aquecido, não estava querendo revolucionar a física. Ele considerava que sua proposta era uma tentativa desesperada de conciliar a teoria com os dados experimentais.

Ao apresentar sua teoria em 1900, Planck tinha 42 anos e já possuía uma carreira acadêmica consolidada. Antes de morrer em 1957, aos 99 anos, o físico pôde ver o surgimento da física quântica e as transformações que provocou no mundo. Praticamente quase toda a nossa tecnologia é decorrente do conhecimento mais profundo da matéria que a física quântica nos proporcionou. Planck não imaginava o alcance que a sua proposta teria. Da mesma forma que a arte, quando realizamos uma descoberta ou criamos uma teoria, quase nunca temos noção do alcance que ela terá.

Adilson de Oliveira

Departamento de Física

Universidade Federal de São Carlos

19/10/2009 - <http://cienciahoje.org.br/coluna/o-inicio-de-uma-moderna-revolucao/>

ANEXO 5

Onda ou partícula? Uma questão de interpretação

Na coluna do mês anterior, discuti o fato de que a compreensão dos fenômenos físicos não se limita apenas a aplicações de fórmulas matemáticas, mas envolve também o entendimento de como os modelos são elaborados para se interpretar a natureza. A construção do conhecimento físico passa justamente pela criação de interpretações formuladas em teorias (que, na sua grande maioria, podem ser expressas por equações matemáticas) e pela experimentação, que coloca à prova os modelos elaborados.

Nesse sentido, a mecânica quântica, teoria física que descreve os fenômenos no domínio da escala atômica, talvez seja a mais desafiante de todas. A mecânica quântica, construída ao longo do século 20, trouxe mudanças profundas e radicais na maneira de interpretarmos os fenômenos físicos. Essa teoria desafia a nossa forma cotidiana de pensar. No pequeno mundo das partículas elementares, dos átomos, das moléculas *etc.*, o nosso bom senso e a lógica usual não podem ser aplicados.

Desde que nascemos, construímos certa percepção do mundo ao nosso redor. Por exemplo, quando aprendemos o que é uma bola, descobrimos que ela tem forma esférica, que tem determinado tamanho, massa e cor e que podemos tocá-la, cheirá-la e até lambê-la. Em outras situações, entendemos o que são ondas observando oscilações na superfície de um lago ou no mar. Estas nos mostram um movimento contínuo de matéria, que, se tocada, faz com que as oscilações se dividam e gerem novas ondas.

Os conceitos de onda e partícula (representada, nesse caso, pela bola) são bastante distintos em nosso cotidiano. Partículas ocupam determinado lugar no espaço e ondas se propagam por todo o espaço. Partículas, quando colidem, como duas bolas de bilhar, assumem trajetórias definidas, que podem ser perfeitamente calculadas a partir das leis do movimento estabelecidas por Newton. Ondas, quando passam por fendas, criam novas frentes de ondas (fenômeno da difração), que, ao

interagirem, podem sofrer interferência construtiva (como se as ondas se reforçassem) ou destrutiva (como se elas se anulassem).

Esses comportamentos característicos de partículas e ondas permitem perceber que elas são objetos distintos. Uma partícula não tem as características de uma onda e vice-versa.

Contudo, quando a observação ocorre na escala nanométrica (um nanômetro equivale a um milionésimo de milímetro), ou seja, no nanomundo, onde átomos e moléculas interagem, os objetos se comportam de forma bem diferente daquela com a qual estamos acostumados em nosso cotidiano. No reino da mecânica quântica, o fato de um objeto se comportar como onda ou partícula depende do ponto de vista do observador.

Luz é onda ou partícula?

No final do século 19 e começo do século 20, estava estabelecido que a luz era uma onda eletromagnética. Observava-se que a luz apresentava os fenômenos de interferência e difração, característicos do comportamento de uma onda. As equações do eletromagnetismo, desenvolvidas pelo físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879), demonstravam que a luz era a propagação ondulatória da combinação de campos elétricos e magnéticos.

Podemos verificar o fenômeno da difração na luz se incidirmos, por exemplo, uma luz branca, como a de uma lanterna, na superfície de um CD gravado. A luz refletida mostrará cores diferentes à medida que mudarmos o ângulo de incidência da luz sobre o CD. Isso acontece porque, ao interagir com os sulcos entre as trilhas gravadas na superfície do CD (que têm aproximadamente a mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da luz visível), as diversas frequências (cores) que compõem o espectro luminoso se dividem e passam a se propagar em novas frentes de ondas.

Por outro lado, um fenômeno da luz primeiramente observado pelo físico Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891) e confirmado pelo físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894) não tinha uma explicação plausível. Trata-se do efeito fotoelétrico, ou seja, o surgimento de corrente elétrica quando se incide luz sobre um metal. O curioso desse efeito é que ele somente ocorre em frequências da luz acima de

determinado valor. Se você incidir, por exemplo, uma luz vermelha, não importando a intensidade (quantidade) de luz, não haverá corrente. Mas, se você usar uma luz azul, a corrente aparecerá, mesmo com intensidade de luz menor. Esse resultado contradizia o que a teoria ondulatória da luz previa na época, pois a corrente deveria surgir com qualquer cor, dependendo apenas da intensidade.

Atualmente, células fotoelétricas são utilizadas em diversas aplicações. As portas automáticas, muito comuns em *shopping centers*, são um exemplo. Quando obstruímos a passagem da luz que incide sobre a fotocélula, a corrente deixa de fluir e se ativa o dispositivo para abrir a porta.

Esse fenômeno aplicado tão corriqueiramente nos dias de hoje precisou de uma ideia revolucionária para ser compreendido. Em 1905, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) explicou o efeito fotoelétrico introduzindo o conceito de *quantum* de luz, que mais tarde ficou conhecido como fóton.

Segundo Einstein, para remover um elétron ligado aos átomos de metal, seria necessário fornecer energia suficiente para que ele escapasse do material. Essa energia deveria ser proporcional à frequência da luz incidente multiplicada por uma constante física fundamental chamada constante de Planck – introduzida alguns anos antes pelo físico alemão Max Planck (1858-1947) para explicar a radiação do corpo negro. Dessa forma, Einstein propôs que a luz se comportava como se fosse um fluxo de partículas de energia, ao contrário do que todos os experimentos sobre a natureza da luz tinham mostrado.

Elétrons são partículas ou ondas?

Em 1897, o físico britânico J. J. Thomson (1856-1940) descobriu a primeira partícula fundamental: o elétron. Suas experiências, realizadas com tubos de raios catódicos, dispositivos semelhantes aos usados nos antigos tubos de aparelhos de televisão, mostraram que havia uma partícula que sentia a presença de campos elétricos. Naquele momento, ele conseguiu medir o valor da razão carga/massa do elétron. O valor da carga do elétron foi determinado posteriormente pelo físico estadunidense Robert A. Millikan (1868-1953).

Em 1924, o físico francês Louis de Broglie (1892-1987) apresentou em sua tese de doutorado uma hipótese revolucionária para explicar a natureza das partículas

constituintes da matéria. Ele propôs que é possível associar uma onda a uma partícula em movimento, o que ficou conhecido como onda de matéria de Broglie.

Em 1927, o físico estadunidense Clinton J. Davisson (1881-1958) e colaboradores observaram a difração de elétrons em cristais. Em 1931, o físico britânico George P. Thomson (1892-1975) confirmou os resultados de Davisson e comprovou definitivamente a hipótese de Louis de Broglie. Em 1937, Davisson e Thomson ganharam o prêmio Nobel de Física por essa descoberta. Curiosamente, George Thomson era filho de J. J. Thomson. O pai descobriu o elétron como partícula e o filho mostrou que ele também poderia se comportar como onda.

Uma importante aplicação da difração de elétrons é a microscopia eletrônica, que utiliza elétrons para criar imagens de estruturas na escala atômica. Nesse caso, a separação que existe entre os átomos – que é da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda associado aos elétrons – funciona como as ranhuras do CD para a luz visível. Ao interagir com os átomos, os elétrons difratam e as novas frentes de ondas que se formam permitem compor a imagem da estrutura que as gerou.

De fato, elétrons, fótons e outros entes atômicos não são nem ondas nem partículas. Eles podem apresentar esse comportamento dualista, dependendo da forma como interagimos com eles. Embora isso possa parecer contraditório e ferir o nosso senso comum, os resultados experimentais comprovam esses fatos. A mecânica quântica nos levou a mudar a nossa visão de mundo.

Como disse um dos mais proeminentes físicos do século 20, Richard Feynman (1918-1988): “Eu acho que posso dizer seguramente que ninguém entende a mecânica quântica. (...) Não fique dizendo para você mesmo ‘Mas como ela pode ser assim?’ porque você entrará em um beco sem saída do qual ninguém escapou ainda. Ninguém sabe como a natureza pode ser assim.”

Adilson de Oliveira

Departamento de Física

Universidade Federal de São Carlos

<http://cienciahoje.org.br/coluna/onda-ou-particula-uma-questao-de-interpretacao/>

ANEXO 6**Detectores de luz: das primeiras câmeras aos CCD**

Ao longo de milênios, o olho humano foi o único detector de luz usado em observações astronômicas. Grandes astrônomos da Antiguidade, como Hiparco de Nicea, fizeram descobertas notáveis sem auxílio de instrumentos óticos; eles usavam apenas miras e instrumentos de medidas de ângulos como quadrantes ou sextantes.

A partir do início do século 17 o telescópio astronômico tomou forma graças a engenhosidade de Galileu, que adaptou para observações astronômicas um instrumento que já existia para fins militares ou comerciais como a observação de navios ou de soldados a distância. Mas mesmo com o auxílio de telescópios o problema-chave do registro das observações continuava em aberto: se um astrônomo descobrisse algo interessante no céu, era obrigado a desenhar sua descoberta em papel para relata-la a seus pares. A questão do registro das observações é fundamental já que apenas por uma imagem de qualidade é que uma descoberta pode ser verificada pela comunidade científica, para ser comprovada ou refutada.

Como detector da radiação luminosa, a performance do olho humano é admirável: em termos da eficiência na detecção da radiação incidente, a eficiência quântica, o olho humano é bem mais eficiente que os filmes fotográficos que por mais de um século foram os detectores mais utilizados pela ciência em geral. A eficiência quântica é uma medida da fração da radiação incidente que efetivamente é registrada por um detector: enquanto um filme fotográfico tem eficiência quântica de 2-3%, o olho humano chega a 10%. Outra característica importante do olho é sua sensibilidade espectral: o olho humano é mais eficiente no amarelo, região espectral em que o Sol emite mais energia, revelando assim o resultado de bilhões de anos de evolução: o olho humano é mais sensível na faixa espectral onde existe mais energia disponível. Outra característica do olho importante para observações astronômicas é sua adaptabilidade a escuridão. O olho é mais sensível em ambientes de baixa luminosidade.

Até meados do século 19 todas as observações astronômicas eram registradas apenas com o olho do observador, que a seguir deveria se valer de suas habilidades gráficas e desenhar o que havia observado pela ocular do telescópio. Essa é uma limitação dramática pela razão simples de que o olho humano não dispõe de ajuste do tempo de exposição! A pupila funciona como um diafragma de câmera fotográfica e pode ficar mais aberta em ambientes de baixa luminosidade ou mais fechada em ambientes muito iluminados, mas a taxa com que a informação é transmitida ao cérebro não se altera. Com qualquer câmera fotográfica, por mais rudimentar que seja, é possível ajustar o tempo de exposição de modo a aumentá-lo para permitir o registro de objetos mais fracos.



20- Primeira foto da Lua, feita em 1851 por John Adams Whipple usando a técnica chamada daguerreotipo.

A invenção da câmera fotográfica permitiu o registro fiel das observações astronômicas. A fotografia, baseada no princípio de reações químicas que ocorrem numa chapa colocada no plano focal de uma câmera para registrar uma imagem, foi desenvolvida nas primeiras décadas do século 19. Diversas pessoas participaram dessa empreitada, às vezes colaborando entre si, ou concorrendo umas com as outras. Joseph Nicephore Niepce foi um desses pioneiros: em 1822 ele conseguiu registrar imagens numa superfície tratada quimicamente. Atribuiu-se a seu colaborador, o pintor e inventor Louis Daguerre, a primeira foto astronômica. Em 1840 Daguerre fez uma imagem da Lua usando um pequeno telescópio. Lamentavelmente, essa imagem não sobreviveu para a história. A primeira fotografia astronômica remanescente é uma imagem da Lua obtida por John Adams Whipple, fotógrafo americano. Em colaboração com o astrônomo William Cranch Bond, ele fez, na

mesma época, também a primeira imagem de uma estrela, Vega, a mais brilhante da constelação da Lira.

A partir de meados do século 19 a fotografia consolidou-se como a técnica fundamental para o registro de observações astronômicas. Ela permitiu o desenvolvimento da fotometria, a análise rigorosa do fluxo de luz proveniente de qualquer alvo observado no céu como estrelas ou objetos difusos como nebulosas ou galáxias. O emprego de técnicas fotométricas, principalmente quando aliadas a telescópios mais modernos, a partir do início do século 20, permitiu avanços significativos na astronomia.

Em 1925, por exemplo, o astrônomo norte-americano Edwin P. Hubble (1899-1953) demonstrou, usando medidas fotométricas precisas, que a chamada “nebulosa de Andrômeda” é uma galáxia tão grande ou maior que a Via Láctea, a galáxia que abriga o Sistema Solar, o que alterou profundamente a concepção do Universo. A fotografia passou a ser empregada não só no registro de imagens, mas também na espectroscopia.

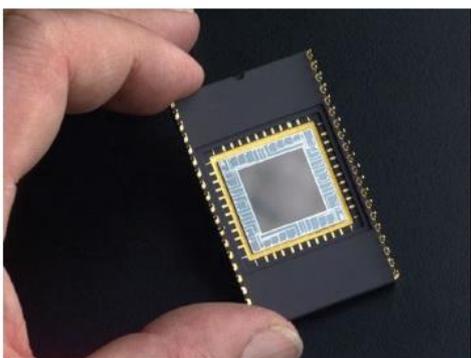
Utilizada no plano focal da saída do espectrógrafo por tempos de exposição que podiam ser de muitas horas ou mesmo de algumas noites sucessivas, uma câmera fotográfica registrava o espectro do corpo celeste em observação. Os resultados desse procedimento abriram janelas novas na compreensão dos processos físicos que ocorrem nos corpos celestes como o estudo de abundâncias químicas das estrelas, a medida de velocidades radiais estelares, galáxias ou a investigação de atmosferas estelares.

Após mais de um século reinando sozinha como instrumento de registro de imagens astronômicas, a fotografia viu surgirem em meados do século 20 os dispositivos eletrônicos como opção para o registro de imagens. Esses dispositivos resultaram do rápido desenvolvimento da eletrônica durante a Segunda Guerra Mundial. Inicialmente surgiram os chamados “tubos de imagem” baseados no princípio da varredura eletrônica. Neste caso a imagem é projetada num plano focal composto de material fotossensível que libera elétrons, que por sua vez são lidos por um processo de varredura. A cada ponto de leitura é lida uma carga elétrica proporcional a intensidade da luz incidente. Esse tipo de dispositivo constrói o análogo eletrônico de uma fotografia clássica onde cada “ponto” da imagem é um grão de material

fotossensível que sofre reação fotoquímica com intensidade proporcional a luz incidente.

Em 1948 o transistor foi inventado por John Bardeen, Walter H. Brattain e William B. Shockley. Esse dispositivo serve como “chave” ou como amplificador eletrônico e seu desenvolvimento permitiu a miniaturização e integração dos componentes eletrônicos em escala nunca antes imaginada. Por esse desenvolvimento, seus autores foram reconhecidos com o Prêmio Nobel de Física de 1956.

Em 1969, o Dispositivo de Carga Acoplada (*Charge-Coupled Device – CCD*) foi desenvolvido por Willard Boyle e George E. Smith. Esse dispositivo é um circuito integrado, e, portanto, “descendente” dos transistores, e funciona como o análogo de um filme fotográfico, com a diferença que, em vez de grãos de um material fotossensível que sofre uma reação fotoquímica, o CCD é uma matriz de fotoelementos. Quando colocado no plano focal de uma câmera, cada elemento do CCD, denominado pixel, acumula uma carga elétrica proporcional a luz incidente, produzindo-se assim uma imagem eletrônica. Por essa conquista com notável impacto em diversas áreas da ciência e da tecnologia modernas, Boyle e Smith receberam o Prêmio Nobel de Física de 2009.



22- O retângulo central mais claro em um CCD contém os fotoelementos ou pixels, a montagem mais escura abriga os circuitos eletrônicos e no verso estão os conectores elétricos. Colocado no plano focal de um telescópio e dado um tempo de exposição apropriado, o CCD permite obter imagens de objetos milhões de vezes mais fracos que os visíveis a olho nu (crédito: Smithsonian Astrophysical Observatory).



23- Modelo do mosaico de 189 CCDs que equipará a câmera de 3.200 mega-pixels do LSST, cujo plano focal terá 64 cm de lado. A imagem da Lua mostra qual será a escala do plano focal do telescópio (crédito: LSST Corporation).

A partir dos anos 1980, os CCDs começaram a ser largamente empregados em astronomia, substituindo os filmes fotográficos como elemento de registro de

imagens. Isso ocorreu porque os CCDs têm inúmeras vantagens sobre os filmes: são mais sensíveis, tem eficiência quântica maior e operam em faixas dinâmicas mais amplas. Além disso, imagens eletrônicas podem ser analisadas, impressas, armazenadas, transmitidas e exibidas usando exclusivamente meios digitais, dispensando processamento químico.

A partir de meados dos anos 1990 as câmeras fotográficas digitais popularizaram-se e a produção de CCDs explodiu, bem como a dos CMOS, seus similares. Agora, câmeras relativamente baratas, e mesmo telefones celulares, tem detectores digitais com performances que até recentemente estavam restritas a equipamentos profissionais de alto custo.

Atualmente, mosaicos compostos por vários detectores CCDs estão em desenvolvimento para equipar novos telescópios. O projeto LSST (*Large Synoptic Survey Telescope*) é um exemplo disso. Trata-se de um telescópio de 8,4 metros de diâmetro em construção nos Andes chilenos e, quando estiver concluído, em 2015, fará um levantamento fotográfico de todo o céu visível daquele local ao final de poucas noites. Esse telescópio será equipado com a maior câmera CCD do mundo: um mosaico totalizando 3.200 megapixels.

(Adaptado de "O céu que nos envolve", vários autores)

QUESTÕES

- 1- Qual era o grande problema que permanecia mesmo com a utilização dos telescópios para observações astronômicas?
- 2- Quais características do olho humano o torna um bom detector?
- 3- Procure explicar o fato de o olho humano ter mais sensibilidade na região espectral do amarelo.
- 4- O que é eficiência quântica?
- 5- Podemos fazer a seguinte analogia: comparar o olho humano a uma câmera fotográfica. Explique, em detalhes, a analogia, deixando claro também suas limitações.
- 6- No que consiste a fotometria? De que modo essa técnica revolucionou as observações astronômicas?
- 7- Como funcionam os CCD?
- 8- Faça um resumo de como os CCD foram substituindo as técnicas fotográficas comuns.
- 9- Quais as vantagens dos CCD em relação às técnicas fotográficas?
- 10- Individualmente, faça um Mapa Conceitual sobre a compreensão do texto que acabou de ler.