

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS

Programa de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática

Alessandro Chicarelli Pereira

**UMA INTRODUÇÃO À ASTROFÍSICA PARA A LICENCIATURA EM
FÍSICA:
a elaboração do conceito de geração da energia solar**

Belo Horizonte
2015

Alessandro Chicarelli Pereira

**UMA INTRODUÇÃO À ASTROFÍSICA PARA A LICENCIATURA EM
FÍSICA:
a elaboração do conceito de geração da energia solar**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Lev Vertchenko

Área de Concentração: Física

**Belo Horizonte
2015**

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

P436i Pereira, Alessandro Chicarelli
Uma introdução à astrofísica para a licenciatura em física: a elaboração do conceito de geração da energia solar / Alessandro Chicarelli Pereira. Belo Horizonte, 2015.
88 f.: il.

Orientador: Lev Vertchenko
Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Astrofísica. 3. Ciências - Estudo e ensino. 4. Aprendizagem por atividades. 5. Vigotsky, L. S. (Lev Semenovich), 1896-1934. I. Vertchenko, Lev. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. III. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 53:37.02

Alessandro Chicarelli Pereira

**UMA INTRODUÇÃO À ASTROFÍSICA PARA A LICENCIATURA EM
FÍSICA:
a elaboração do conceito de geração da energia solar**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado Profissional em Ensino de Ciências
e Matemática da Pontifícia Universidade
Católica de Minas Gerais.

Prof. Dr. Lev Vertchenko (Orientador) – PUC Minas

Prof. Dr. Peter Leroy Faria – PUC Minas

Profa. Dra. Adriana Gomes Dickman – PUC Minas

Belo Horizonte, 24 de Junho de 2015.

*A minha esposa, Elisângela, companheira de todos os momentos, sempre estimulando os meus progressos e compartilhando as minhas conquistas.
Aos meus filhos, Gustavo e Isadhora, por serem minha motivação para buscar a realização dos sonhos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela realização deste sonho e a Nossa Senhora, que me ilumina e me dá força para seguir sempre em frente, apesar dos tropeços.

À meus pais, exemplo de ética, honestidade, fé e amor incondicional sempre presentes em todos os momentos da minha vida.

A minha esposa e meus filhos, agradeço o carinho, a paciência e a compreensão pelas ausências durante o tempo dispensado a este trabalho.

Aos professores do Mestrado, que sempre me recebiam com sorrisos e gentis considerações sobre a importância deste trabalho e em especial ao professor Dr. Lev Vertchenko pela orientação, pela atenção, pela compreensão diante das dificuldades de percurso e pelas belas aulas ministradas.

Aos colegas do mestrado, agradeço pelo companheirismo e pelas palavras amigas e apoio nos momentos de desânimo.

Aos professores da EE Joaquim Bartholomeu Pedrosa e das demais escolas que participaram do minicurso que me possibilitou avaliar as atividades propostas nesta dissertação.

*“A mente que se abre a uma nova
ideia jamais voltará ao seu tamanho
original.”*

Albert Einstein

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi elaborar um material com ênfase em um experimento que permite fazer estimativas de grandezas que levam à conclusão da existência de fusão nuclear no interior do Sol, mecanismo responsável pela geração da energia do astro. Esse material possibilita uma introdução à Astrofísica para os cursos de Licenciatura em Física. A proposta metodológica foi aplicada, em forma de minicurso, a um grupo de 10 professores de Física do Ensino Médio de escolas da rede estadual de ensino das cidades de Fervedouro, Ponte Alta de Minas, Carangola e Divino. A proposta do trabalho foi o de apresentar uma metodologia que pudesse dar significado ao conhecimento adquirido, com a preocupação de mostrar a concatenação lógica dos acontecimentos, visando o aperfeiçoamento do processo de ensino e aprendizagem da Física presente em um tópico de Astrofísica. A escolha deste tema se deu por entendermos que ele é altamente motivador e capaz de permitir o estabelecimento de conexões com diversas áreas do saber. A base teórica deste trabalho foi fundamentada na teoria sócio-histórica desenvolvida por Vigotski. Buscamos desenvolver a metodologia de ensino com a abordagem de conceitos de Astrofísica a partir de assuntos que já estão dentro da zona de desenvolvimento proximal do aprendiz. A sequência de pequenos textos, a atividade experimental e a resolução de exercícios focaram momentos pedagógicos com o objetivo de tornar o tema significativo e relevante para os professores (e os estudantes de licenciatura em Física), permitindo que eles se sentissem seguros em abordá-los durante suas atuações profissionais no futuro. Os indícios da aprendizagem significativa foram obtidos por meio de um instrumento de avaliação que os professores responderam no final da participação no minicurso. Nesse instrumento, os professores apresentaram um índice de aproveitamento satisfatório, e os resultados apontaram que o assunto é reconhecido por eles como potencialmente significativo. O questionário de avaliação da proposta didática apresentada mostra ainda a aprovação da metodologia desenvolvida e utilizada, sendo fundamental para o bom desempenho dos participantes no projeto e para a aprendizagem significativa promovida.

Palavras-chave: Astrofísica. Ensino de Física. Ensino de Ciências. Curso de Licenciatura em Física. Aprendizagem Significativa. Vigotski.

ABSTRACT

This work aims developing a material emphasizing an experiment that allows to estimate grandeur that lead to the finding of nuclear fusion in the Sun, mechanism responsible for the generation of energy from this star. This material allows an introduction to astrophysics in Physics Degree. The methodology was applied in a short course for a group of 10 Physics teachers who work at public schools in Fervedouro, Ponte Alta de Minas, Carangola and Divino cities. This study introduces a methodology in order to give a meaning for acquired knowledge, oncerning about showing the logical concatenation of events, aiming to improve the physics teaching and learning that is present in an astrophysics topic. This theme was chosen because it is extremely motivator and it is able to afford connections among different areas of knowledge. This project was founded in the socio-historical theory developed by Vygotsky. The teaching methodology was developed approaching astrophysics concept that learner has already have in the development proximal zone. The sequence of short texts, the experimental activity and exercises resolution focused pedagogic moments in order to make the meaningful and relevant theme for teachers (and Physics undergraduates), allowing them to feel safe when they will approach it in their professional performance in the future. The evidences from significant learning were gotten through an assessment tool that teachers responded at the end of participation in the short course. The teachers presented a satisfactory utilization rate and the results showed that is recognized by them as potentially significant. The assessment questionnaire from didactic proposal also shows the approval of the developed and used methodology, besides it is fundamental for good performance of participants in the project and for the meaningful learning promoted.

Keywords: Astrophysics. Physics Teaching. Science Teaching. Physics Degree. Meaningful Learning. Vigotski.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 Tabela de dados obtidos em uma realização do experimento.....	63
TABELA 2 Energia liberada por kg de combustível.....	71

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Ações indicadas na proposta.....	35
FIGURA 2	Organograma com o desenvolvimento da proposta de trabalho.....	51
FIGURA 3	Triangulação usada na determinação da distância da Terra à Lua.....	52
FIGURA 4	Diâmetro angular do Sol.....	54
FIGURA 5	Balança de Torção.....	56
FIGURA 6	Bacia utilizada no experimento.....	60
FIGURA 7	Cronômetro Digital.....	60
FIGURA 8	Becker utilizado para a medida de volume da água.....	61
FIGURA 9	Termômetro graduado na escala Celsius.....	61
FIGURA 10	Medida da temperatura inicial da água.....	64
FIGURA 11	Radiação do corpo negro.....	68
FIGURA 12	Gráfico da cor da luz visível do Sol.....	69
FIGURA 13	Gráfico da curva espectral por comprimento de onda.....	70
FIGURA 14	Equilíbrio hidrostático do Sol.....	73
FIGURA 15	Esquema de uma estrela.....	77
FIGURA 16	Gráfico do Pico de Gamow.....	84

LISTA DE SIGLAS

EDUSP	Editora da Universidade de São Paulo
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação
UA	Unidade Astronômica
UEMG	Universidade do Estado de Minas Gerais
USP	Universidade de São Paulo
ZDP	Zona de Desenvolvimento Proximal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Motivação para o trabalho.....	14
1.2	Objeto de estudo.....	14
1.3	Identificação do problema.....	18
1.4	Objetivos.....	19
1.5	Hipóteses defendidas.....	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-PEDAGÓGICA.....	22
2.1	Introdução.....	22
2.2	Os processos de desenvolvimento e de aprendizagem.....	23
2.2.1	A aprendizagem como processo de construção de conceitos.....	25
2.3	A teoria Sócio Histórica de Vigotski.....	28
2.4	Implementação das ideias de Vigotski no trabalho proposto.....	31
3	METODOLOGIA E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	34
3.1	Procedimentos metodológicos da pesquisa.....	34
3.2	Público-alvo do trabalho e justificativa da escolha dos participantes da pesquisa.....	34
3.3	Elaboração do material.....	34
3.3.1	Apresentação dos textos e realização da atividade experimental.....	35
3.3.2	Aplicação do questionário para avaliação das atividades propostas no produto.....	36
3.4	Aplicação do material.....	37
3.4.1	Apresentação e análise dos resultados.....	40
3.4.2	Análise dos questionários respondidos pelos participantes do minicurso.....	41
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	45
	APÊNDICE A – Atividades de Astrofísica para o estudante de licenciatura e o Equilíbrio Hidrostático do Sol.....	48

APÊNDICE B – O Pico de Gamow.....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação para o trabalho

O autor deste trabalho foi professor, de setembro de 2002 a dezembro de 2013, na Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Carangola, Unidade Associada à UEMG, lecionando as disciplinas de Física I, Física II e Física III no curso de Licenciatura em Matemática e Física Geral no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, além de ser professor de Física e Matemática no Ensino Médio da rede estadual de ensino de Minas Gerais.

O convívio com colegas professores mostrou que os mesmos apresentam sérias dificuldades ao ensinar conceitos básicos de fenômenos relacionados à Astronomia/Astrofísica. Surgiu, assim, a ideia de elaborar um produto voltado para o ensino de Física com ênfase em um experimento que possa ser aplicado à introdução, de forma significativa, de tópicos de Astrofísica no curso de Licenciatura. Entende-se aqui a “forma significativa” quando ocorre uma concatenação lógica das ideias, levando o futuro professor a entender a Física presente nos fenômenos celestes abordados neste trabalho. A seguir, apresentaremos, com detalhes, a proposta do trabalho.

1.2 Objeto de estudo

O Ensino de Astrofísica nos cursos de Licenciatura em Física é marcado pela descontinuidade e por uma literatura insuficiente para atender os objetivos a que se propõe, e cumprir o estabelecido pela Constituição Federal de 1988 BRASIL (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, Senado Federal, 1998. 121 p. em seu artigo 205, que “A educação, direito de todos e dever do Estado e da família, será promovida e incentivada com a colaboração da sociedade, visando ao pleno desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho” no que se refere à Educação em nosso país.

Sua aprendizagem, a exemplo do que ocorre com outros conhecimentos científicos, pode acontecer nos mais diversos ambientes como na educação formal, informal, bem como em eventos que têm por objetivo a popularização da ciência. No que diz respeito aos significados específicos destes termos, não há nenhum consenso, porém diversos trabalhos

sinalizam para a necessidade de uma definição para tais, diante do uso de critérios bem definidos. Quando tentamos expressar conteúdos científicos tornando-os acessíveis à toda a população, as dificuldades se tornam maiores, resultando em termos tais como: difusão, disseminação, divulgação e popularização. Para Gouvêa (MCT/SECIS/CNPq Nº 63/2008 – Difusão e Popularização da Astronomia), o uso do termo popularização parece ser mais apropriado quando se leva em conta as concepções do público-alvo ao se realizar uma transposição didática de saberes científicos, tornando este termo, portanto, mais amplo do que o uso de divulgação, disseminação ou difusão, os quais parecem denotar uma via de mão única, partindo dos cientistas e atingindo o povo, sem consulta prévia.

De acordo com artigo publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física vol. 25 n.1 São Paulo 2003, com o título “Indicadores para avaliação da formação e aproveitamento vocacional em ciências exatas: um estudo de caso” disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-47442003000100012>, autores que estudam a trajetória histórica da Astronomia/Astrofísica, afirmam que o primeiro curso formal de graduação em Astronomia do Brasil foi criado em 1958, mas com o tempo, este curso foi perdendo força, e as reformas políticas, fizeram com que o ensino sofresse alterações e a Astronomia bem como a Astrofísica deixaram de ser disciplinas específicas. Nos anos 60, a Astronomia era oferecida somente como disciplina optativa em várias universidades que ofereciam cursos de graduação em Física, Engenharia e Matemática, situação que pode ser observada até hoje em várias instituições deste nível.

Na medida em que a educação foi sofrendo reformas, os conteúdos de Astronomia passaram a fazer parte de disciplinas como Ciências e Geografia (ensino fundamental) e Física (ensino médio). Com a Lei 9394/96 Lei de Diretrizes e Bases (LDB) conhecida como Lei Darcy Ribeiro de 1996, a Astronomia passou a ser estudada essencialmente na disciplina de Ciências, deixando assim de ser disciplina específica nos cursos de formação de professores conforme indicam os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCNs (BRASIL, 1999), que são derivados dessa Lei, e com isso a Astronomia passou a ser trabalhada de forma superficial nos conteúdos básicos dos cursos de licenciatura.

Atualmente, os cursos de graduação como o curso de Física por exemplo, que deveria contemplar as disciplinas de Astronomia e Astrofísica, não as apresentam como obrigatórias, mas em poucos casos, como disciplinas optativas. Estudos como os de Bretones e Megid Neto (2005) revelam que apenas 54 cursos contemplam a disciplina específica de Astronomia como

conteúdo obrigatório, em 46 instituições de ensino superior em todo o país (67% públicas e 33% particulares).

Mesmo tendo ocorrido reformas educacionais recentes, estudos mostram que, sobre essa questão, a formação de professores de Ciências, na maioria dos cursos, ainda está mais próxima da década de 70. Um professor de Ciências dos anos finais do ensino fundamental, na maioria das vezes tem formação em Ciências Biológicas e dos anos iniciais geralmente são formados em Pedagogia, entretanto, se deparam com o momento de ensinar conteúdos de Astronomia para seus alunos, mas os conceitos fundamentais de Astronomia e Astrofísica não costumam ser estudados por eles durante a sua formação profissional. Isso faz com que sintam sérias dificuldades de ensinar conteúdos relacionados à Astronomia/Astrofísica, o que leva muitos professores a simplesmente desprezar conteúdos deste tema em sua prática docente.

Entretanto, sabe-se que é notável o encanto que as pessoas sentem pelo céu. Contudo, os fenômenos celestes e atmosféricos que fazem parte do nosso cotidiano não são compreendidos por grande parte de nós, sendo, muitas vezes entendidos como de natureza mística e não como fenômenos naturais.

Pretendemos, dentro de certas limitações, apresentar uma proposta de uma Introdução Significativa à Astrofísica para os cursos de Licenciatura em Física, através da apresentação de estimativas das grandezas que levam à conclusão da existência de fusão nuclear no interior do Sol. Isso envolve a determinação da distância da Terra ao Sol, da constante gravitacional G e da luminosidade do astro. A determinação das grandezas serão apresentadas em perspectiva cronológica, mas com a preocupação de mostrar a sua concatenação lógica em direção à evolução da concepção da fonte de energia do Sol, nos auxiliando a fazer inferências importantes sobre a Física presente nos fenômenos celestes aqui estudados.

Para desenvolver este trabalho, que culminará na construção do material didático proposto nessa dissertação, três questões principais foram consideradas:

- 1^a - O referencial teórico-pedagógico a ser adotado;
- 2^a - O modelo ou a metodologia a ser aplicada.
- 3^a - O conceito científico a ser desenvolvido.

O referencial teórico-pedagógico aqui adotado é inspirado em Gaspar & Monteiro (2005), em artigo publicado sobre a realização de demonstrações. Apesar de realizarmos apenas uma experiência, o artigo sugere que tais atividades, quando fundamentadas na teoria de Vigotski (2001), podem funcionar como facilitadoras do processo de ensino aprendizagem.

Concordando com essa visão, tomamos como referencial o trabalho desenvolvido por Vigotski (1987, 1988, 1995, 2001, 2003), uma vez que sua teoria trata, com maior especificidade, da importância dos conceitos intuitivos e científicos no desenvolvimento intelectual dos estudantes em geral, abordando como eles se relacionam e como o desenvolvimento dos conceitos científicos influenciam no desenvolvimento dos conceitos intuitivos e das funções psicológicas como a abstração, a memória seletiva e a arbitrariedade, denominadas por ele de funções superiores.

Se pretendemos que os alunos aprendam significativamente, parece ser necessário propiciar situações problemáticas que ajudem na construção de significados dos conceitos envolvidos. O empenhamento dos alunos em tarefas que impliquem diversas fases de uma investigação científica, desde o planejamento, passando pela proposta de hipóteses explicativas e pela execução, incluindo a discussão com os seus pares e o professor (o que muitas vezes leva a reformular as questões), contribui para a construção do seu conhecimento. É nessa perspectiva que o TE (trabalho experimental) deve ser entendido como uma atividade investigativa e cooperativa, facilitadora de Aprendizagem Significativa. (NEVES;MOREIRA, 2006, p. 399).

Escolhemos um tópico de Astrofísica a ser desenvolvido, apresentando como importante concepção, o mecanismo responsável pela geração de energia nas estrelas. Optou-se pelo conteúdo, pois, além de apresentar um elevado grau de dificuldade, é um tema que, às vezes, não chega a ser abordado nos cursos de licenciatura em Física. Quando trabalhado, como acontece com outros conteúdos, a abordagem, frequentemente, é feita de forma, desamarrada e descontínua, aumentando a dificuldade para o desenvolvimento adequado dos conceitos físicos envolvidos, que serão apresentados a estudantes do curso de Licenciatura em Física.

Além disso, sabemos da curiosidade do ser humano ao se defrontar com os fenômenos celestes e os elementos que o constituem. Sua curiosidade, não se caracteriza apenas como ingênua, mas também como uma desinquietação que o auxilia no processo educacional, e, uma vez o indivíduo nessa desinquietação, sua curiosidade pode se tornar cada vez mais crítica e epistemológica.

Objetivamos com a escolha deste tópico, chamar a atenção do futuro professor de Física, especialmente para que as pessoas possam redescobrir o mundo ao seu redor e aguçar cada vez mais suas curiosidades.

É reconhecido que a Astrofísica, assim como a Astronomia, possui rico potencial mobilizador, envolvendo as pessoas em diferentes atividades de redescobertas e questionamentos, assim como os aspectos motivacionais, axiológicos, os quais despertam, instigam e alimentam a curiosidade de diferentes indivíduos (GAMA & HENRIQUE, 2010).

Considerando o aspecto motivacional que a Astrofísica pode proporcionar, os fenômenos que observamos no céu e no mundo que nos cerca, possibilitam indagações muito ricas, que se fazem presentes em diversos campos do conhecimento humano, bem como nos sensibilizam significativamente. De onde viemos? – Como surgiu o universo? Esses são alguns exemplos de perguntas que temos nos feito, “em todos os tempos e em todas as civilizações, essas perguntas sempre inquietaram a humanidade e receberam diferentes respostas” (MARTINS, 1994, p.7).

Acreditamos que o melhor entendimento do tópico de Astrofísica abordado neste trabalho nos possibilitará um crescimento, levando os alunos de Licenciatura em Física a compreenderem a imensidão do Universo e a necessidade da população participar nos destinos do planeta, ampliando a dimensão apenas acadêmica do ensino, pois, as diversas possibilidades que a natureza nos apresenta, são os elementos primordiais presentes em processos de descobertas, de criação, de rupturas epistemológicas e, principalmente, no processo de ensino e aprendizagem de conhecimentos adquiridos/construídos pela humanidade ao longo dos tempos.

É humilhante, e talvez até preocupante, pensar que as pessoas antigas, com um aparato técnico mínimo, possam ter desenvolvido uma acuidade maior do que a nossa para sentir fenômenos naturais que eles procuravam expressar simbolicamente. Podemos de fato acreditar que viam padrões na natureza que não são conhecidos para nós? Afinal, eles estavam condicionados por uma vida inteira de imersão em um ambiente de visões, cheiros e sons particulares que nutriam e aguçavam seus apetites sensoriais. E eles estavam livres do efeito de embotamento dos sentidos causado pela dependência tecnológica que o mundo moderno adquiriu. (AVENI, 1993, p. 23-24).

Procuramos desenvolver uma metodologia de intervenção em sala de aula, baseada, sobretudo, em uma atividade prática, intercalando observações com suas respectivas medições, construção de uma tabela e aplicação de teorias da Física apresentadas de forma sequencial e articulada.

1.3 Identificação do problema

A plena formação do ser humano tem como objetivo o sobrepujamento histórico presente na educação em nosso país entre teoria e prática, cultura geral versus cultura técnica. Nos cursos de Licenciatura em Física existentes no país, vemos evidenciada a necessidade de se ter formação integral, conduzida pela prática social experimentada pelo estudante durante sua formação e preparação para o mercado de trabalho, alicerçada pela formação científica, e tecnológica, outorgando-lhe o desenvolvimento efetivo dos fundamentos para a participação política, social, cultural, econômica e no mundo do trabalho, visando à continuidade de estudos como meio e não como finalidade em si mesma.

Eis a questão proposta neste trabalho: Como trabalhar uma Introdução à Astrofísica nos cursos de Licenciatura em Física, visando à necessidade de introduzir o conhecimento de forma significativa?

1.4 Objetivos:

O objetivo geral deste trabalho é a elaboração de um material que possibilite uma introdução à Astrofísica para os cursos de Licenciatura em Física, de forma a dar significado ao conhecimento adquirido, com a preocupação de mostrar a concatenação lógica dos acontecimentos, visando o aperfeiçoamento do processo de ensino e aprendizagem, e investindo em novas propostas que possam viabilizar a motivação dos alunos e dirigir a aprendizagem para objetivos bem definidos.

A partir do objetivo acima, pretende-se ainda:

- Analisar os conteúdos físicos e, dentre eles, elencar os assuntos relacionados à vida social e principalmente, profissional do aluno.
- Contribuir para uma aprendizagem significativa dos alunos do curso de Licenciatura em Física.
- Contribuir para a análise, seleção e abordagem de tópicos de Astrofísica que possibilitem, aos professores, elaborarem suas ementas e, posteriormente, seus materiais didáticos significativamente.

Acreditamos que a introdução de uma atividade experimental abrangendo a observação do Sol servirá tanto de apoio para contribuir para a formação dos conceitos como também de motivação para o estudo da Física presente nos tópicos de Astrofísica propostos para os cursos de Licenciatura em Física. Desta forma, estamos propondo uma nova

metodologia que utilizará um experimento com o intuito de inserir novos signos para formar princípios que servirão de pré-requisitos para uma aprendizagem mais significativa.

1.5 Hipóteses defendidas

Ao tratarmos do processo de ensino aprendizagem, os recursos didáticos se tornam elementos primordiais para um bom aproveitamento dos alunos. Precisamos então, buscar novas formas de apresentação do conteúdo, permitindo visualizar a relação existente entre a disciplina de Física e outras disciplinas como, por exemplo, a Astrofísica.

Nos cursos de Licenciatura em Física ou outras matérias afins existentes no país as atividades experimentais e as observações exercem um papel importante na formação dos acadêmicos. Quando o aluno verifica e/ou interpreta um problema prático, desenvolve capacidades e competências que dificilmente seriam alcançadas com uma aula teórica convencional. Assim, um ensino pautado numa metodologia teórico-prática apresenta uma contribuição importante.

Um professor, ao ensinar tópicos de Astrofísica, antes deve compreender os fundamentos físicos envolvidos. Por isso, sugerimos uma atividade experimental que proporcione discussões e reflexões que possam, realmente, estimular esclarecimentos dos fundamentos teóricos, levando os alunos a se sentirem mais motivados e, com isso, socializar o conhecimento e contrapor os conceitos espontâneos com os conceitos científicos. Bazzo (2005) expõe que para resolvermos um problema, precisamos nos distanciar do sistema físico real, substituindo-o por outro mais simples denominado de modelo. Dessa forma, quando realizamos a atividade experimental proposta neste trabalho, podemos afirmar que, os alunos terão, a possibilidade de analisar modelos e distinguir as influências e importâncias das variáveis envolvidas.

Através da atividade proposta que nada mais é do que uma representação idealizada que nos auxilia na análise do problema, estaremos estabelecendo uma correlação entre o modelo e a realidade correspondente. As concepções da natureza do átomo, do universo e da luz, ou as teorias de Darwin e de Einstein, nada mais são do que modelos concebidos pelo homem para explicar e analisar determinados fenômenos.

Utilizaremos um experimento que consiste de uma bacia com água, um termômetro, um recipiente graduado para medida de volume, relógio cronômetro e uma calculadora, porque alguns sistemas mais complexos, além de impraticáveis, podem não funcionar da primeira vez, necessitando de diversas revisões e ajustes. Além disso, a precisão do processo

pode ser aumentada através do aprimoramento do modelo, pois, como o problema está simplificado, temos condições de exercer um controle maior sobre o seu comportamento. Isso acontece porque estão envolvidas, neste caso, menos variáveis para serem controladas durante a realização do experimento.

Cabe ao aluno de graduação, neste caso do curso de Física, o julgamento da relevância e influência das diversas variáveis.

O objetivo do experimento é medir a quantidade de energia proveniente do Sol e recebida na Terra a cada minuto, calcular a constante solar e relacionar essa constante com a potência emitida pelo Sol.

Com esses dados podemos estabelecer o conceito de luminosidade, compreender a relação entre a altitude do Sol no céu e o valor da constante solar medido na superfície da Terra, relacionar a luminosidade com a energia emitida e chegarmos à temperatura efetiva do Sol. Através de condições de equilíbrio, estimaremos o valor da temperatura e da pressão no núcleo do Sol, o aluno perceberá que elas se tornam tão altas a ponto de ocorrer fusão nuclear no interior da estrela.

No Capítulo 2, apresentaremos a fundamentação teórico-pedagógica que embasa a construção do produto. No Capítulo 3 apresentamos a metodologia e análise dos resultados. No capítulo 4 apresentamos as considerações finais e conclusões do trabalho. No apêndice A apresentamos as atividades de Astrofísica para o estudante de licenciatura o que nos levará a determinação da temperatura da fotosfera solar que nos possibilitará fazer uma comparação com a distribuição espectral emitida por um corpo negro à mesma temperatura. Essa comparação leva ao entendimento do motivo pelo qual vemos o Sol amarelado. No apêndice B apresentamos o Pico de Gamow que nos permitirá entender como ocorrem as reações de fusão nuclear no núcleo do Sol, mostrando a região com maior probabilidade de duas partículas nucleares superarem a barreira de Coulomb.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-PEDAGÓGICA

2.1 Introdução

O desenvolvimento da aprendizagem apresenta diferentes abordagens na Psicologia. Diversas são as contribuições e as implicações que essas teorias têm na atuação dos professores e dos demais profissionais da educação. Segundo Moreira e Coutinho (1992), as teorias comportamentalistas, as teorias da Gestalt e as interacionistas trouxeram significativas contribuições para o processo ensino-aprendizagem. Fundamentados nessas teorias, materiais e propostas de ensino foram desenvolvidos e, ainda hoje, são utilizados por diversos professores em diferentes escolas.

Neste trabalho foi utilizado como referencial teórico a teoria sócio interacionista de Vigotski¹. Apoiamo-nos em tal teoria, por entendermos que ela estabelece pilares suficientes para sustentar os objetivos deste trabalho.

Segundo Vigotski (2000) o desenvolvimento humano é um processo dialético, que apresenta periodicidade, irregularidade no aprimoramento das diferentes funções, transformação qualitativa de uma forma em outra, entrelaçamento de fatores externos e internos e processos adaptativos.

Os trabalhos de Vigotski são voltados para o estudo da criança e do adolescente, mas não podemos dizer que se tratam apenas do desenvolvimento intelectual na infância e na adolescência. Baseados em seus estudos, podemos compreender melhor os processos humanos complexos e a concepção do desenvolvimento das funções mentais superiores em suas diversas manifestações.

Ao desenvolver seu trabalho, Vigotski (2001) se baseia nos trabalhos de Piaget e de outros investigadores, a fim de destacar seus pontos de vista. Em sua teoria, Vigotski dá ênfase à mudança e se preocupa em mostrar que, a cada estágio de seu desenvolvimento, a criança adquire novos meios para intervir de forma competente no seu mundo e em si mesma. Vigotski busca compreender a interação existente entre as condições sociais em transformação e as bases biológicas do comportamento da criança.

¹ Fazemos referência aos trabalhos de Vigotski que foram reeditados em 1999, 2000 e 2001, entretanto, devemos lembrar que Vigotski dedicou-se à elaboração de sua obra, a partir de 1924, porém, sua teoria só chegou no Brasil, e começou a ser estudada de modo lento, na segunda metade da década de 1970. Na década de 1980, Martins Fontes publica a primeira versão brasileira de *Mind in Society (A formação social da mente)* e, a de *Tought and Language (Pensamento e Linguagem)*, possibilitando o primeiro acesso às ideias de Vigotski, que ganharam força a partir da década de 1980, sendo reeditado até os dias atuais.

Em seus trabalhos Vigotski afirma que:

Com o auxílio dos problemas propostos, da necessidade que surge e é estimulada, pelos objetivos colocados perante o adolescente que o meio social circundante o motiva e o leva a dar o passo decisivo no desenvolvimento do seu pensamento.

[...] onde o meio não cria os problemas correspondentes, não apresenta novas exigências, não motiva nem estimula com novos objetivos o desenvolvimento do intelecto, o pensamento do adolescente não desenvolve todas as potencialidades que efetivamente contém, não atinge as formas superiores ou chega a elas com um extremo atraso. (VIGOTSKI, 2001, p. 171).

Em relação ao desenvolvimento intelectual dos alunos, percebemos que Vigotski dá ênfase ao ambiente escolar e valoriza o papel do professor mediador. Nesse sentido, propomos uma atividade experimental, onde o professor se destaca por ser o agente capaz de conduzir o processo de ensino e aprendizagem, confrontando os conhecimentos espontâneos dos alunos com o conhecimento científico. Assim, o professor poderá introduzir novas informações, cientificamente mais válidas, promovendo o desenvolvimento de pensamentos coerentes, visando o aprimoramento dos conhecimentos e modelos que os alunos tinham do mundo à sua volta.

A intenção é envolver os alunos e o professor, propiciando um ambiente de cooperação que permita explorar conceitos que dificilmente seriam percebidos por conta própria do aluno.

2.2 Os processos de desenvolvimento e de aprendizagem

Segundo Vigotski, ao chegar à escola, a criança é um indivíduo que sabe coisas e cujo intelecto atua de acordo com os mecanismos de funcionamento mental do ser humano. O aluno é um indivíduo membro de um grupo sociocultural determinado, que lhe fornece o material cultural sobre o qual vai operar na sua vida habitual, desde os objetos concretos até os conceitos, ideias, valores, concepções sobre o mundo e sobre a própria experiência, bem como modos privilegiados de operação sobre esse material. É um indivíduo singular que, a partir da base biológica representada pelo seu corpo e da definição cultural de seu contexto cotidiano, vive uma história pessoal que resulta numa configuração particular de experiências.

Para Vigotski, a escola onde a criança chega é um elemento de substancial importância, tendo como objetivo transmitir um corpo de conhecimentos socialmente

definidos como significativos e modos de operar intelectualmente considerados adequados dentro do contexto social.

Com a democratização do sistema educacional, e o conseqüente ingresso na escola de crianças das camadas populares, alguns subsídios podem ser buscados na psicologia cognitiva, no sentido de aprofundar as reflexões a respeito da criança como um ser ativo, que elabora e verifica hipóteses e constrói conhecimento. Devemos destacar dois temas importantes neste contexto: a formação de conceitos e a construção de universos de significado, e as relações entre desenvolvimento intelectual e aprendizagem. Baseados nessa teoria, tentaremos dar significado aos conhecimentos de Física que aplicaremos em alguns tópicos da Astrofísica, construindo o conhecimento a partir dos conceitos estudados e das observações feitas da nossa estrela, o Sol.

Os processos de entendimento e formação do pensamento característicos dos seres humanos são processos mediados por sistemas simbólicos. Trabalhamos mentalmente com símbolos que representam os objetos, eventos e situações do mundo real, somos capazes de manipular as representações na ausência das coisas representadas. Nossa capacidade de representação simbólica nos desobriga da necessidade de relacionarmos diretamente com os objetos de nosso pensamento, permitindo que pensemos sobre coisas passadas ou futuras, inexistentes ou ausentes do espaço onde nos encontramos, sobre planos, projetos e intenções, constituindo uma espécie de "filtro" através do qual percebemos o mundo real, justamente por mediar a relação direta entre o sujeito e o objeto de conhecimento. Isso nos abre um leque de possibilidades, uma vez que estaremos usando o conhecimento adquirido no passado, graças às enormes contribuições de cientistas como Copérnico, Galileu, Isaac Newton etc., para o desenvolvimento da Astrofísica, através da aplicação dos conhecimentos da Física a fim de resolver problemas decorrentes da observação dos astros.

Os princípios e conceitos são determinados pelas particularidades do universo em que se move o ser humano, e também pelas formas de organização impostas ao real pelo próprio homem.

O aluno vai construindo sua estrutura conceitual, seu universo de significados, a partir do contato com as formas culturalmente determinadas de ordenação e designação das categorias da experiência. Esse processo ocorre ao longo do desenvolvimento intelectual da criança e mantém-se na vida adulta, onde estamos sempre obtendo novos conceitos, incorporando novos significados e reorganizando as relações entre os conceitos disponíveis. Ao longo da vida do indivíduo ele terá a sua disposição, uma certa estrutura conceitual, a qual

é uma espécie de rede de conceitos interligados por relações de paridade, proximidade, dependência. Tal rede corresponde, ao conhecimento que ele acumulou sobre as coisas e o filtro através do qual ele é capaz de interpretar os fatos, eventos e situações com que se depara no mundo objetivo.

Para a ampliação e o refinamento da estrutura conceitual, conforme o indivíduo vai amadurecendo, sua experiência pessoal e a utilização de fontes diversas de informação, fazem com que seu processo de reflexão sobre os conceitos se tornem mais importantes e maiores serão as possibilidades de uma ação deliberada sobre o próprio universo de conhecimentos. Os adolescentes e adultos são capazes de buscar, intencionalmente, informações para preencher lacunas no seu conhecimento sobre um certo domínio, por terem condições de autoanálise de confrontação do próprio universo de significados com outros, de outras pessoas, de uma disciplina escolar, da ciência consolidada.

Nesse processo permanente de construção da estrutura conceitual, o indivíduo fundamenta-se, nos processos de funcionamento intelectual do ser humano, na mediação representativa fornecida pelo cenário cultural no qual o indivíduo vive e na configuração específica de suas experiências pessoais. Esse processo é, na verdade, o processo de aprendizagem pelo qual todas as pessoas passam, ao longo de toda a vida, dentro e fora da escola, estabelecendo a ligação da formação de conceitos e da construção de universos de significado com o processo de aprendizagem que ocorre na escola. O educador, cumprindo com seus objetivos profissionais, estará comprometido com a transmissão de um corpo de conhecimentos para sujeitos que têm cada um, um universo conceitual próprio. O conteúdo intelectual acumulado de cada indivíduo, devido à mediação simbólica da sua experiência, constitui a base do universo sobre o qual se acomodarão os mais variados episódios de aprendizagem.

Quando adquirimos conhecimentos sobre determinado assunto, estamos realizando transformações na estrutura de conceitos, já adquiridos, relacionados a esse assunto.

Pretendemos na construção do produto, tratar os conceitos já adquiridos no estudo da Física, apresentando-os em uma sequência lógica e cronológica, mostrando as relações existentes entre as observações e o conceito físico envolvido que leva a Astrofísica a determinadas conclusões.

2.2.1 A aprendizagem como processo de construção de conceitos

"O único bom ensino é o que se adianta ao desenvolvimento".
(VIGOTSKI, 1988, p.103)

Baseados na concepção de que a aprendizagem é um processo permanente de construção de estruturas conceituais e que envolve os mecanismos de funcionamento intelectual, o contexto sociocultural em que o indivíduo vive, a história pessoal de cada um, por sua própria natureza de processo que ocorre ao longo da vida individual e que envolve transformações intelectuais, a aprendizagem assim entendida reporta à ideia de desenvolvimento intelectual e à necessidade de se conhecer esse desenvolvimento para melhor compreender os mecanismos de aprendizagem.

A concepção do intelecto adulto, desde o nascimento e passando pelas diversas fases da infância e da adolescência, tem sido abrangentemente estudada em psicologia. O consenso que prevalece na psicologia do desenvolvimento é a de que existe um processo de maturação do organismo que segue certas etapas em sequência e leva ao domínio de determinadas formas de pensamento típicas da idade adulta. Ainda que consideremos a interação do organismo com o meio físico e social em que vive, subentende-se o desenvolvimento intelectual como um processo que tem certa autonomia e que define, a cada fase, os limites e as possibilidades de desempenho cognitivo do indivíduo. Esse processo explica, ainda, as possibilidades de aprendizagem que o indivíduo tem a cada momento.

Surge então, uma questão importante: como postular a autonomia do processo de aperfeiçoar o desenvolvimento intelectual e sua consequência sobre as possibilidades de aprendizagem, se associamos a aprendizagem com a mediação sociocultural e com as experiências vivenciadas pelo indivíduo? Se considerarmos que o indivíduo não funciona intelectualmente num "vazio", seu desenvolvimento não pode ser tomado como independente dos complexos processos de aprendizagem que ele vivencia. Como poderíamos, então, relacionar seu desenvolvimento intelectual com a aprendizagem?

Encontramos nos textos de Vigotski uma solução interessante para esse problema. Considerando a ideia de que existe um processo de maturação do organismo e tomando o funcionamento intelectual como essencialmente sócio histórico, Vigotski (1984) coloca a aprendizagem como "um aspecto necessário e universal do processo de desenvolvimento das funções psicológicas culturalmente organizadas e especificamente humanas". Segundo o autor, existe, sim, uma trajetória de desenvolvimento intelectual, mas é a aprendizagem que possibilita o início de processos internos de desenvolvimento que, se não houvesse o contato do indivíduo com um ambiente cultural favorável, não ocorreriam. Ao ser instruído por

alguém, o indivíduo torna-se capaz de alcançar desempenhos cognitivos, numa certa fase de seu desenvolvimento que não aconteceriam automaticamente. A ajuda externa funciona como um dos propulsores do desenvolvimento, capaz de provocar processos internos que ainda estão para amadurecer. O processo de desenvolvimento de cada indivíduo está atrelado com o convívio sociocultural de cada um devido a sua necessidade de conviver com outros indivíduos de sua espécie para se desenvolver plenamente.

Estaremos nos baseando nessa ideia para despertar através de uma atividade experimental e uma sequência lógica de conceitos, levando em consideração o que o indivíduo já sabe, construir os conceitos de Astrofísica de forma significativa, mostrando como estes estão intimamente ligados a teorias da Física que anteriormente pareciam estar desconectados um do outro.

A proposta de Vigotski para o ensino escolar tem uma implicação imediata. Uma vez que a aprendizagem impulsiona o desenvolvimento, a escola se torna fundamental na construção do intelecto adulto dos indivíduos que vivem em sociedades escolarizadas, entretanto, o desempenho desse papel só ocorre de forma significativa na medida em que, conhecendo a situação de desenvolvimento cognitivo dos alunos, a escola conduz o ensino para estágios de desenvolvimento ainda não incorporados por eles, funcionando realmente como um propulsor de novas conquistas intelectuais. Daí é que cabe a afirmação de que "o único bom ensino é o que se adianta ao desenvolvimento".

Destacamos alguns pontos que nos levaram a basear o nosso trabalho nessa teoria:

- Importância dada ao papel que se imagina para o professor na condução da atividade experimental proposta neste trabalho e o papel mediacional que Vigotski propõe que os educadores devem desempenhar em sua prática pedagógica;
- Desenvolvimento dos conceitos científicos abordados de forma sequencial e lógica, objetivo principal da atividade proposta, da diferenciação entre conceitos científicos e espontâneos, e da influência que um exerce no outro;
- Atribuição dos conceitos científicos a partir do experimento feito pelos indivíduos em grupo e, também, pela indicação que essa teoria nos dá, ao estabelecer o conceito de zona proximal que discutiremos na próxima seção, do momento propício e as condições necessárias para se fazer uma intervenção intencional, dentro do processo educativo, para que ocorra a aprendizagem e o desenvolvimento intelectual.

A atividade prática proposta no trabalho se torna enriquecida quando os alunos trabalham em grupo, trocando informações e experiências, de forma que os pontos fracos de

um aluno, que apresenta dificuldade em algum tópico ou ação, podem ser pontos fortes de outro, o que permite ao grupo como um todo desenvolver aquilo que foi proposto. Nessa troca de experiências, a atividade pode ser desenvolvida dentro da zona proximal dos alunos que, segundo Vigotski (2001), favorece a aprendizagem e o desenvolvimento intelectual.

O principal objetivo da atividade experimental não é apenas a demonstração de um princípio, servindo como problematização, levando os alunos à reflexão e à busca de suas próprias soluções, e o professor, conforme propõe Vigotski (2001) tem o papel de mediador entre os alunos e o conhecimento.

Trabalhamos a seguir um pouco mais a teoria sócio histórica de Vigotski (2001) a fim de esclarecer melhor a importância que ela atribui a escola e ao professor.

2.3 A teoria Sócio Histórica de Vigotski

A Teoria Sócio Histórica de Lev Seminovitch Vigotski (2003) esclarece que a aprendizagem está inteiramente relacionada com o contexto sócio-histórico-cultural de cada indivíduo. Para Vigotski os alicerces socioculturais da comunidade em que o indivíduo vive vão sendo absorvidas por ele com o passar do tempo, através das atividades que realiza.

Vigotski considera que o desenvolvimento do indivíduo e a forma como adquire conhecimento depende da sua interação com o meio, como resultado de um processo sócio histórico, destacando o papel da linguagem e da aprendizagem nesse desenvolvimento. Para ele, a associação da interação social ao instrumento linguístico é determinante para o desenvolvimento do indivíduo.

Vigotski usa o conceito de mediação do conhecimento para a compreensão das concepções sobre o desenvolvimento humano enquanto processo sócio histórico.

“[...] o homem não tem acesso direto aos objetos, mas sim acesso mediado, por meio de recortes da realidade, operados pelos sistemas simbólicos de que dispõe”. (VIGOTSKI, 2003, p.79)

Pretendemos na construção deste trabalho, levar o estudante de Física a interagir com o meio. Na atividade experimental que utilizaremos, o professor assume o papel de mediador, que segundo Vigotski, tem a função de estabelecer um elo entre o conhecimento e o aluno, numa situação dialógica em que no processo do ensinar e do aprender, o aluno interfere efetivamente nas possibilidades de ação do professor, não passando “em brancas nuvens” pela relação. Portanto, não pode ser entendido como um mero elo intermediário, um negociador

que, em princípio, permaneceria o mesmo pós-negociação. Tanto o aluno quanto o professor não são os mesmos depois do diálogo.

Assim, o trabalho pedagógico do professor não significa outra coisa que não ação conjunta devido à interação com o educando. O resultado do que ocorre na relação professor e aluno é o desenvolvimento psicológico, como possibilidade de realização futura. “O que caracteriza o desenvolvimento do aluno é a capacidade que emerge e cresce de modo partilhado” (GÓES, 1991, p.20). Isso significa que para haver a oportunidade de empreendimento de novas situações de desenvolvimento são necessárias parcerias nos espaços pedagógicos.

A partir do experimento proposto neste trabalho, apresentamos uma sequência de atividades lógicas onde, partindo de uma situação observada, torna-se possível abstrair conceitos e compreender o comportamento físico. Dessa forma, acreditamos que a interiorização do conhecimento por parte dos alunos não ocorre simplesmente pela manipulação dos materiais e equipamentos diretamente, mas, por meio da linguagem na medida em que eles dialogam uns com os outros e com o professor.

Vigotski dá ênfase à construção do conhecimento pela mediação dos relacionamentos sociais, isto é, o conhecimento não está sendo visto como uma ação do sujeito sobre o objeto real, mas sim, pela mediação exercida por um outro social à medida que o aprendiz constrói seu conhecimento. O outro social não necessariamente deve ser uma pessoa, podendo ser um objeto, a organização do ambiente, ou seja, o mundo cultural que rodeia o indivíduo.

Em seu trabalho, Vigotski ressalta que, o aprendiz é submetido a um processo interpessoal, por meio de ações externas realizando um processo intrapessoal, através da interiorização cumulativa de instrumentos mediadores, reconstruindo o significado e reestruturando de forma própria o conhecimento, o que leva o aprendiz a devolver o conhecimento ao meio social, transformando-o. A partir dessa teoria nos sentimos motivados para a escrita deste trabalho, “Uma introdução à Astrofísica para a Licenciatura em Física: a elaboração do conceito de geração da energia solar”, pois, buscaremos através da mediação, dar significado ao conhecimento adquirido pelo indivíduo.

Conforme Vigotski (1987), a mediação possibilita o planejamento e ação na solução de problemas. Ao usar instrumentos mediadores na resolução de situações, o ser humano age de forma deliberada no presente e no futuro. Ao operar com signo, num ato mediado, o indivíduo cria em sua estrutura uma forma de retenção complexa e ativa.

De acordo com estudos sobre as capacidades inerentes ao desenvolvimento de funções psicológicas superiores, o ser humano tem a capacidade de controlar seu próprio comportamento, de acordo com seu desenvolvimento cultural e não biológico, demonstrando uma nova forma de operação psicológica não-natural.

No que diz respeito às relações existentes entre aprendizagem e desenvolvimento, Vigotski (1987, p.53) enfatiza o que ele chama de zona de desenvolvimento proximal (ZDP), delimitando dois planos de conhecimento, região em que o aprendizado de fato ocorre. O plano inferior é delimitado pelo desenvolvimento real, que corresponde a tudo aquilo que o estudante aprendeu durante sua vida, e no plano superior pelo desenvolvimento proximal, apresentando todas as possibilidades que poderão ser consolidadas e transformadas em desenvolvimento.

Nesse intervalo contínuo da ZDP a atuação de um mediador é fundamental, podendo ser o educador ou um colega, cuja ação pode acontecer na discussão, interação, contradição entre ideias e outras atividades, com os pares ou com o formador. Beyer (2004) ao analisar o processo de interação na ZDP esclarece que:

“[...] dois tipos de contribuições discursivas (aluno-aluno; professor-aluno; aluno-professor) acontecem na sala de aula e estão diretamente implicados na emergência da ZDP”.

Cada um de nós possui um continuum onde ocorre o aprendizado.

Vigotski explica ainda que: “[...] na medida em que oferecia à criança problemas que ela conseguia resolver sozinha, esse método foi incapaz de utilizar a zona de desenvolvimento proximal e de dirigir a criança para aquilo que ela ainda não era capaz de fazer. O aprendizado voltava-se para as deficiências da criança, ao invés de se voltar para os seus pontos fortes, encorajando-a, assim, a permanecer no estágio pré-escolar do desenvolvimento”. (VIGOTSKI, 1999, p. 130)

Vigotski enfatiza ainda que, não há como determinar em que dia e hora o aluno estará preparado para aprender um dado conteúdo disciplinar. Faz-se então necessário a utilização de bons instrumentos metodológicos, que assegurem a ampliação do desenvolvimento efetivo e, com isso, o aparecimento de um novo desenvolvimento proximal.

A abordagem vigotskiana sobre a importância das mediações, representa a necessidade de que o/a professor/a ajuste sua didática na promoção das melhores e mais produtivas interações das crianças entre si e delas com o professor. A internalização do conhecimento pelo aluno é sempre mediada pelo material e metodologia didática utilizada. Em sua teoria, Vigotski defende uma significação para o conteúdo escolar.

Vigotski (1993, p. 233-235) destaca a relevância da escrita para a construção de significados na vida escolar do aluno. Afirma ainda, que ao mediar o aprendizado e a relação entre o conhecimento e as estruturas psicológicas do indivíduo, a adaptação é uma constante que estimula o desenvolvimento do aluno, e no processo educativo a mediação e a adaptação são ferramentas pedagógicas colocadas à disposição do aprendiz.

Segundo Vigotski (2003, p.197), a plasticidade e adaptabilidade dos sistemas psicológicos do indivíduo, em processo ativo de desenvolvimento, modificam e/ou criam novas estruturas superiores. Nesse aspecto, David Ausubel introduz uma visão diferente, mas que aborda o mesmo assunto em consonância com Vigotski. A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, como a reintegração, transformação e obliteração de estruturas psicológicas, defende a origem de novas estruturas funcionais afim de enfrentar novos problemas, e em muito se parece com a descrição sócio histórica de Vigotski.

A interação defendida por Vigotski (2003, p. 103) está relacionada à necessidade da presença do outro, da sua interação com o outro, construindo o conhecimento a partir desse relacionamento baseado nas mediações.

2.4 Implementação das ideias de Vigotski no trabalho proposto

A metodologia apresentada neste trabalho, foi elaborada, de forma a especificar um objeto geral que sinaliza operações mentais necessárias para o desenvolvimento das atividades propostas. Dessa forma, as atividades foram concebidas afim de apresentarem simplicidade e eficiência no que se propõem.

Mostraremos a seguir, como pretendemos implementar as ideias de Vigotski no trabalho que estamos propondo.

Nos cursos de Licenciatura em Física, quando um aluno se matricula na disciplina de Astrofísica, consideramos que este já apresenta um nível de desenvolvimento cognitivo necessário para a aprendizagem dos assuntos que serão ensinados. Desta forma, tais assuntos já estão dentro da zona de desenvolvimento proximal do aprendiz.

Segundo os estudos de Vigotski (2001), as disciplinas formais contribuem para o desenvolvimento intelectual dos alunos e os conceitos formados em uma disciplina auxiliam na formação de novos conceitos em outras disciplinas.

Ao pensarmos em uma proposta que explore de forma significativa a Astrofísica e como estes conceitos estão relacionados com a Física, pretendemos que os alunos de

Licenciatura em Física compreendam conceitos relativos ao estudo de importantes concepções da Astrofísica, como os mecanismos responsáveis pela geração da energia nas estrelas, e que possam futuramente aplicá-los também em outras disciplinas nos cursos de graduação.

Considerando que os alunos estejam dentro da zona de desenvolvimento proximal, sugerimos que eles executem o experimento proposto neste trabalho em grupo e sob o acompanhamento de um professor. Ao propormos uma sequência de exercícios, tivemos também a preocupação de ensinar os conceitos científicos buscando relacionar a teoria com a prática, sempre evidenciando a aplicação das teorias da Física na Astrofísica. Na execução da atividade experimental, o aluno será conduzido a exercitar as funções intelectuais, interpretando os resultados encontrados e discutindo com os demais componentes do grupo o comportamento físico investigado. Acreditamos ainda ser importante que os alunos apresentem na resolução dos exercícios, suas explicações por escrito acerca dos fenômenos que serão observados, não ficando apenas nas discussões orais. Para isso, sempre que os alunos obtiverem os resultados, das medições de temperatura, volume da água no recipiente, indicamos algum questionamento para conduzir as reflexões, como por exemplo, se as medidas esperadas não coincidirem com o encontrado na literatura, quais as possíveis causas?

No decorrer da atividade, introduzimos novos signos quando o aluno sente a necessidade de novos conceitos que possam caracterizar melhor o objetivo a ser atingido, que é a inferência da necessidade de ocorrer reações nucleares no interior das estrelas.

Ao realizar as primeiras medições, os alunos verificam que a variação na temperatura da água da bacia utilizada na atividade experimental, depende da energia recebida e que está diretamente relacionada a determinadas condições como a presença de nuvens, vento, se o experimento está sendo realizado na sombra ou no Sol. A partir desse momento, o professor insere novos conceitos, conduzindo os trabalhos e estabelecendo um elo entre o conhecimento e o aluno.

Esperamos montar estruturas para ajudar o aprendiz a movimentar-se no andaime intelectual, como uma infraestrutura de informação, na qual o material novo pode ser ancorado.

Posteriormente, para inferirem conceitos ainda mais importantes, o aluno através do conhecimento prévio da distância da Terra ao Sol, da Luminosidade do astro (calculada a partir do experimento realizado), e analisando o espectro da radiação de um corpo negro, calcularemos a temperatura efetiva do Sol. Em seguida, inserimos outro signo importante que

servirá para relacionar a energia emitida com uma estimativa do tempo e comparamos com a idade dos astros baseados na literatura. Pretendemos ainda que os alunos cheguem à temperatura e pressão no interior do Sol, podendo verificar que estas se tornam altas a ponto de ocorrer fusão nuclear.

3 METODOLOGIA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Procedimentos metodológicos da pesquisa

Dedicamo-nos neste capítulo, a descrever o que fizemos, como implementamos, como colocamos em prática e avaliamos a proposta metodológica contida neste trabalho. Basicamente, a pesquisa apresentou duas etapas realizadas em 5 horas de minicurso.

1ª etapa – Apresentação dos textos na forma de slides, realização da atividade experimental, resolução de uma sequência de exercícios e interpretação dos resultados encontrados.

2ª etapa – Aplicação de um questionário para os dez professores que participaram das atividades propostas como forma de avaliação do trabalho apresentado.

3.2 Público-alvo do trabalho e justificativa da escolha dos participantes da pesquisa

O produto desta dissertação tem como objetivo a elaboração um material que possibilite uma introdução significativa à Astrofísica, com a realização de uma atividade experimental que possa ser utilizada com os alunos dos cursos de Licenciatura em Física.

Na aplicação da proposta experimental, os professores que fizeram parte da pesquisa lecionam as disciplinas de Física e/ou Ciências no 9º ano do ensino fundamental e no ensino médio, todos na rede estadual de educação de Minas Gerais, nas cidades de Fervedouro, Ponte Alta de Minas, Carangola e Divino.

Fizemos essa escolha devido à ausência do oferecimento do curso de Física pelas faculdades da nossa região e constatamos que apenas dois dos professores que participaram do minicurso possuíam licenciatura em Física, e mesmo assim não haviam cursado as disciplinas de Astronomia ou Astrofísica durante a graduação. Todos os outros oito professores possuíam graduação em áreas afins, como Matemática, Engenharia Civil e Ciências Biológicas.

Os participantes da pesquisa são professores que, desde a graduação até a data de aplicação das atividades, não tiveram a oportunidade de estudar tópicos de Astronomia ou Astrofísica, tendo no máximo cursado as disciplinas de Física geral durante a graduação. Entretanto, acreditamos que os professores escolhidos apresentam um nível de desenvolvimento cognitivo satisfatório para participação do minicurso, o que os possibilitará aplicar as atividades propostas neste trabalho em sala de aula no futuro.

3.3 Elaboração do material

3.3.1 Apresentação dos textos e realização da atividade experimental

Ao elaborar o material, procuramos nos orientar de acordo com a proposta do projeto de pesquisa, que era elaborar um material que possibilite uma introdução significativa à Astrofísica para os cursos de Licenciatura em Física.

Inicialmente, para que pudéssemos definir um referencial teórico pedagógico, fizemos uma análise de várias teorias e optamos pela teoria de Vigotski por perceber que Vigotski valoriza o papel do professor como mediador do conhecimento, dando grande valor à questão do ambiente escolar, com relação ao processo de formação dos conceitos nos alunos.

Na elaboração do material, optamos pelo uso de pequenos textos, intercalando exercícios e uma atividade experimental, propondo uma sequência metodológica que sinaliza para a compreensão do processo de geração de energia no interior do Sol através de uma concatenação lógica que busca a compreensão do fenômeno observado.

A figura 1 mostra a sequência adotada na construção deste trabalho.

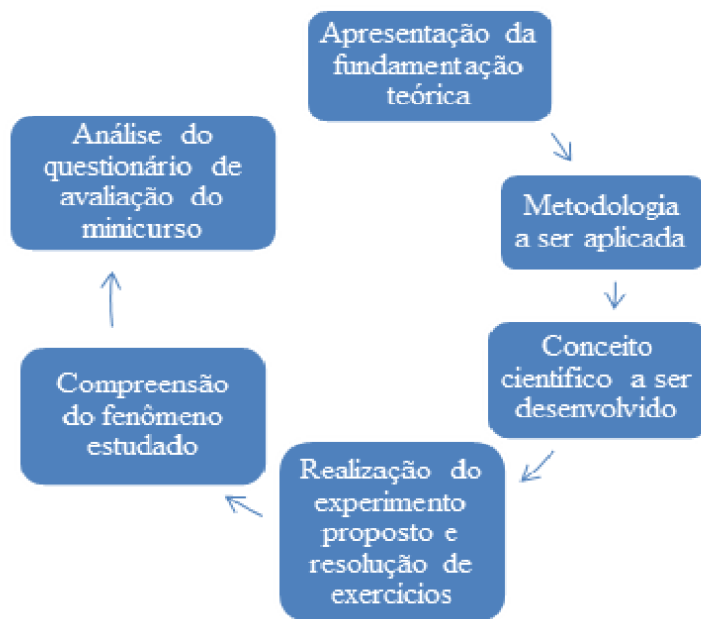


Figura 1: Ações indicadas na proposta.
Fonte: Elaborado pelo autor

A sequência de textos, de exercícios e da atividade experimental foram planejadas para que na medida em que os alunos do curso de Licenciatura em Física e no caso da aplicação no minicurso, os professores fossem avançando, pudessem sentir a necessidade de usar novos conceitos que os auxiliassem nas investigações propostas.

Como o foco do trabalho consiste na elaboração de um material que possibilite uma introdução à Astrofísica, de forma a dar significado ao conhecimento adquirido, nos

preocupamos em abordar exercícios bem delineados, com a preocupação de mostrar a concatenação lógica dos acontecimentos que permitissem o envolvimento dos alunos propiciando sua conscientização com relação ao problema investigado e conduzindo-os ao desenvolvimento de competências inerentes ao estudo dos conceitos físicos presentes na Astrofísica.

Em nossa proposta, elaboramos uma série de exercícios que levem o aluno de Licenciatura em Física e os professores participantes do minicurso a conclusões importantes sobre o processo de geração de energia no Sol.

3.3.2 Aplicação do questionário para avaliação das atividades propostas no produto

No término do minicurso, foi distribuído aos professores um questionário elaborado com o intuito de avaliar o material proposto no presente trabalho, no qual procuramos verificar se durante a resolução dos exercícios, o professor utilizou os conceitos trabalhados para analisar e interpretar uma situação nova. Dessa forma, Vigotski (1999) defende que um conceito encontra-se desenvolvido quando o aluno consegue aplicá-lo em situações inéditas.

Apresentamos a seguir o questionário que utilizamos para avaliar esta proposta de trabalho.

Questionário

Caros professores, chegamos ao término do minicurso “**Atividades de Astrofísica para o estudante de Licenciatura**”, cujo objetivo é o de apresentar um material que possibilite uma introdução à Astrofísica para os cursos de Licenciatura em Física, de forma a dar significado ao conhecimento adquirido, com a preocupação de mostrar a concatenação lógica dos acontecimentos, visando o aperfeiçoamento do processo de ensino e aprendizagem, e investindo em novas propostas que possam viabilizar a motivação dos alunos e dirigir a aprendizagem para objetivos bem definidos, além de proporcionar uma atualização dos conhecimentos de ciências físicas na área de Astrofísica. Agora é momento de avaliar alguns pontos do minicurso. Assim, solicito que respondam as seguintes questões:

- 1) Em sua opinião, a proposta do minicurso é válida? Justifique sua resposta.
- 2) Como você avalia a metodologia utilizada? Justifique sua resposta.
- 3) Qual a sua opinião sobre os textos disponibilizados?
- 4) Qual a sua opinião sobre a importância da experiência utilizada no minicurso para melhor compreensão dos conceitos desenvolvidos e para sua formação profissional?

- 5) Cite alguns aspectos positivos e também alguns aspectos negativos da proposta de trabalho apresentada no minicurso.
- 6) Na sua opinião, em que o trabalho proposto no minicurso pode ser melhorado? Dê algumas sugestões para a sua implementação no futuro.

As questões contidas neste instrumento de avaliação foram desenvolvidas considerando também dois aspectos importantes:

I – Clareza e coerência,

II – Neutralidade.

No que diz respeito à clareza e coerência das questões, procuramos elaborar questionamentos concisos e sem ambiguidades, a fim de obter dos professores respostas com objetividade que nos permitissem identificar se o fenômeno estudado foi realmente compreendido. A neutralidade das questões diz respeito à liberdade dada ao professor no momento de respondê-las, ou seja, os questionamentos foram feitos buscando não induzir uma dada resposta por parte do professor.

Ao escolhermos as questões que seriam utilizadas nesta avaliação, optamos pelas questões com respostas abertas por acreditarmos que estas permitem que o participante da pesquisa possa expressar seu pensamento com liberdade.

Na primeira questão, os participantes foram questionados sobre suas opiniões a respeito da proposta apresentada no minicurso, se seria pertinente ou não. Foi pedido ainda que os mesmos justificassem suas respostas. Na segunda questão, o participante deveria avaliar a metodologia utilizada, justificando sua resposta. Na terceira questão, o professor deveria dar sua opinião sobre os textos disponibilizados. Na quarta questão, foram solicitadas as opiniões dos participantes sobre a importância da experiência utilizada no trabalho desenvolvido e realizada no minicurso para melhor compreensão dos conceitos apresentados e para a formação profissional dos mesmos. Na quinta questão, foi perguntado sobre os aspectos positivos e também negativos da proposta de trabalho apresentada no minicurso. Na sexta e última questão, foi pedida a opinião dos participantes sobre onde o trabalho proposto no minicurso pode ser melhorado e quais seriam suas sugestões para a implementação da proposta de trabalho no futuro.

3.4 Aplicação do material

Conforme citamos anteriormente, a proposta deste trabalho foi aplicada na forma de minicurso para os professores de Física e Ciências da rede pública de ensino das cidades da região de Fervedouro – MG no dia 21 de fevereiro de 2015. Para dar início às atividades, os professores receberam um roteiro contendo a proposta experimental e foram distribuídos em dois grupos. Na execução da prática, todo o material necessário foi fornecido e a elaboração de um quadro com os resultados das medidas de temperatura, volume e tempo foi obrigatório.

No início do minicurso os professores assistiram a apresentação de slides sobre o objeto de estudo e a motivação para o trabalho. Neste momento, os professores reconheceram que têm sérias dificuldades ao ensinar conceitos básicos de fenômenos relacionados à Astronomia/Astrofísica, devido às deficiências encontradas em sua formação, uma vez que nenhum deles havia estudado durante a graduação tópicos relacionados com Astronomia/Astrofísica.

Na sequência, os professores resolveram um exercício para determinar a distância da Terra ao Sol, relacionando a 3ª Lei de Kepler com a determinação da Unidade Astronômica. Dando continuidade, os professores resolveram um segundo exercício e calcularam o diâmetro do Sol, conheceram como Cavendish obteve o valor da constante G que foi usada na determinação da massa solar e da massa da Terra nos exercícios 3 e 4 (APÊNDICE A).

Em seguida, os professores conheceram o conceito de fluxo de radiação luminosa emitido pelo Sol a chamada “constante solar”, com a equação $f = \frac{L}{4\pi d^2}$, relacionaram f com a luminosidade do astro e com a distância à Terra, calculada no exercício 1.

De posse do material e do roteiro que receberam, os professores se dividiram em dois grupos e realizaram a atividade experimental da bacia com água, registrando os dados obtidos em uma tabela.

Dando continuidade, os professores conheceram uma nova equação que relacionava a energia recebida pela bacia com água com a constante solar “ $E = fAt$ ”, e como esta energia estava sendo usada para variar a temperatura da água, estabeleceram uma relação com a equação $E = mc\Delta T$ e puderam verificar que a constante solar poderia ser determinada por:

$$f = \frac{mc\Delta T}{At}.$$

Tomando a nova equação para f , os professores retornaram aos dados experimentais e estimaram o valor da constante solar. Em seguida, os professores resolveram o exercício 5 que questionava o porquê de o valor encontrado no experimento da bacia com água ser diferente do valor tabelado de f , resolveram o exercício 6 que possibilitou que estimassem a

luminosidade do astro. Com os valores da luminosidade, da constante solar e da unidade astronômica, resolveram o exercício 7 que permitiu estimar a temperatura efetiva do Sol.

Para entender a luminosidade do Sol, os professores resolveram o exercício 8 que os levou a se questionarem se seria possível, explicar a energia do Sol através da queima de algum combustível que faz parte do nosso dia-a-dia, caso toda a sua massa (calculada no exercício 3) fosse formada de um desses combustíveis.

Ao resolver os exercícios percebemos que os professores sinalizaram para o entendimento de que com tais combustíveis o tempo de vida do Sol seria muito curto, o que não estaria de acordo com o tempo de vida da Terra que é mais nova que o Sol.

Para prosseguirmos, os professores conheceram o conceito de equilíbrio hidrostático do Sol, sinalizando que o Sol deve estar em equilíbrio, o chamado equilíbrio hidrostático, e resolveram o exercício 9 para entender se seria possível explicar a luminosidade do astro caso sua energia se devesse à contração gravitacional.

Ao resolverem o exercício, a maioria dos professores concluíram que ainda assim, o tempo de vida do Sol seria pequeno, ao comparar com a idade de fósseis de algas encontradas na Terra.

Neste momento, os professores resolveram o exercício 10 e estimaram o valor da pressão e da temperatura no interior do Sol, chegando à conclusão de que os valores eram extremamente altos, o que sinalizava para a possibilidade de haver fusão nuclear por estarem de acordo com a quantidade de energia no qual se dão a maioria das reações nucleares nas estrelas.

Prosseguindo com os textos, foram apresentados aos professores fatores que impedem que as reações de fusão dos prótons sejam mais rápidas: a barreira coulombiana e o fato de nêutrons livres serem raríssimos na natureza.

Nesse momento, os professores questionaram de que forma seria possível que os lentos prótons solares ultrapassem a barreira coulombiana.

A partir do questionamento pudemos introduzir a teoria relacionada com o fenômeno denominado efeito túnel, pelo qual existe efetivamente a possibilidade de um próton atravessar a barreira coulombiana, não importando qual velocidade tenha, conheceram ainda o chamado Pico de Gamow, teoria que mostra a maior probabilidade de ocorrer tunelamento, quando a distribuição de Maxwell-Boltzmann indica um máximo, sendo esta, a região da energia onde a maioria das reações ocorrem.

Por fim, os professores resolveram um exercício onde calcularam o tempo de vida do Sol, levando em consideração a relação existente entre massa e luminosidade.

Após a resolução do exercício, os professores compararam o tempo encontrado com o do aparecimento de algas na Terra e suas respostas sinalizaram que o problema do tempo, relacionado ao “combustível” responsável pela geração da energia na estrela estaria resolvido.

3.4.1 Apresentação e análise dos resultados

Além da atividade experimental proposta, os textos apresentados e a resolução de exercícios, compunham um conjunto de tarefas cuja finalidade era propiciar a formação de conceitos importantes rumo ao processo de geração de energia no Sol.

Na medida em que os professores participavam do minicurso, resolviam os exercícios propostos e executaram o experimento, começaram a refletir sobre o mecanismo de geração de toda a luz e calor emitidos pelo Sol.

Percebemos que houve uma conscientização acerca da necessidade de se inserir novos materiais metodológicos para formar novos conceitos.

No final do minicurso, os professores foram questionados a respeito do processo de geração de energia nas demais estrelas do universo, neste momento, todos os participantes explicaram a nova situação problematizada usando os conceitos apreendidos. Percebemos que os professores sinalizaram pensamentos bem elaborados, ao questionarem o que deverá ocorrer quando quase todo o hidrogênio do Sol tiver se fundido em Hélio, e ao formularem respostas possíveis, os participantes levantaram a hipótese de que deverá haver um novo processo de fusão, formando o próximo elemento da tabela periódica e assim por diante. Em seguida houve um novo questionamento. Se todos os elementos químicos da tabela periódica se formaram através de processos de fusão nuclear nas estrelas, poderiam concluir que se esse processo de fato ocorre, os átomos que compõem os seres vivos da Terra poderiam ter origem em processos de fusão nuclear ocorrido nas estrelas?

Analisando as argumentações apresentadas pelos professores seguimos algumas orientações oferecidas por Laurence Bardin⁴ (2004) “Análise de conteúdo”.

Designa-se sob o termo análise de conteúdo um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens.

O analista possui à sua disposição (ou cria) todo um jogo de operações analíticas, mais ou menos adaptadas à natureza do material e à questão que procura resolver. Pode utilizar uma ou várias operações, em complementaridade, de modo a enriquecer os resultados, ou aumentar a validade, aspirando assim a uma interpretação final fundamentada. Qualquer análise objetiva procura fundamentar impressões e juízos intuitivos, através de operações conducentes a resultados de confiança. (BARDIN, 2011, p. 37)

Faremos em seguida a análise de um questionário entregue pelos professores.

3.4.2 Análise dos questionários respondidos pelos participantes do minicurso

Entendendo que na elaboração das respostas de um questionário, os professores retomam ideias e informações produzidas no contexto da atividade experimental e, mediante o uso da linguagem escrita, sistematizam e constroem novos modelos, formulamos um questionário que além de propiciar o desenvolvimento da habilidade de comunicação escrita dos participantes, nos forneceu um material para avaliarmos nossa proposta de trabalho.

Ao observarmos a aplicação da proposta do presente trabalho, podemos afirmar que a transposição do conhecimento teórico para problemas práticos que seguiam uma concatenação lógica de ideias, facilitou a construção de novos conceitos.

A partir da verificação do comportamento fenomenológico e do registro em uma tabela da variação da temperatura da água ao longo da atividade experimental sugerida, foi possível problematizar as situações e conscientizar os participantes acerca da necessidade de novos parâmetros que fossem mais adequados para analisar o fenômeno estudado.

Durante a realização do experimento, notamos que alguns professores mostraram grande facilidade com relação ao uso de ferramentas simples, como um termômetro de mercúrio enquanto outros acompanharam e também puderam aprender a manipular tal recurso. Entretanto, no momento de comparar e interpretar os resultados encontrados, todos os professores participaram fazendo comentários que colaboraram com o trabalho. Concordando com Vigotski (2000), podemos afirmar também que a interação no grupo contribuiu significativamente para o aprendizado, despertando o desenvolvimento intelectual dos professores.

⁴Laurence Bardin, professora de Psicologia da Universidade de Paris V, oferece uma série de exemplos que são tomados como ilustrações para uma análise de conteúdo.

Dessa forma, com o objetivo de registrar o que pensam os professores a respeito de alguns aspectos concernentes ao minicurso que participaram, relacionando-o aos propósitos desta dissertação, seis questões, elaboradas em forma de entrevista, foram respondidas por professores de Física da rede estadual de Minas Gerais.

Os entrevistados não tiveram acesso prévio às perguntas do questionário. As respostas foram registradas no próprio formulário de perguntas e passamos a transcrever algumas das respostas com a aquiescência dos professores.

- 1) Em sua opinião, a proposta do minicurso é válida? Justifique sua resposta.

Os dez professores responderam que sim. Nove dos professores responderam que os tópicos apresentados mostraram como a física pode ser aplicada a um assunto de astrofísica. O professor P1G1 escreveu: *“A proposta do minicurso mostra-se de grande importância, uma vez que, o assunto abordado apresenta uma nova abordagem da maneira de se tratar em sala de aula a astrofísica, de modo a deixá-la mais compreensível aos futuros professores de Física”*.

- 2) Como você avalia a metodologia utilizada? Justifique sua resposta.

Todos os professores responderam que a metodologia foi boa, clara e interessante.

Exemplos
P2G1 - <i>“A metodologia utilizada possibilitou aos presentes o acompanhamento do raciocínio apresentado de forma clara e lógica. Dessa forma, mesmo aqueles que não têm o conhecimento específico do assunto puderam compreendê-lo”</i> .
P3G2 - <i>“A metodologia apresentada foi de fácil compreensão até mesmo para mim que tenho formação em Biologia”</i>

- 3) Qual a sua opinião sobre os textos disponibilizados?

Nove professores, destacaram que os textos foram muito bons e claros, e apenas um dos professores escreveu que encontrou dificuldades devido a pouco conhecimento sobre o assunto abordado.

Exemplos
P3G1 - <i>“Os textos disponibilizados apresentavam uma linguagem acessível e de fácil compreensão. Mesmo os termos técnicos utilizados devido à necessidade apresentam explicações de fácil compreensão”</i> .

P4G2 – *“Os textos são de fácil compreensão, porém sinto a necessidade de mais textos e explicações devido a nunca ter estudado o tema abordado”*

- 4) Qual a sua opinião sobre a importância da experiência utilizada no minicurso para melhor compreensão dos conceitos desenvolvidos e para sua formação profissional? Os dez professores destacaram a importância da utilização de um experimento, conforme as respostas abaixo:

Exemplos
P5G1 - <i>“A experiência utilizada tornou mais fácil a compreensão do assunto e, por ser relativamente simples, poderá ser facilmente aplicada em aulas de Física. Experimentos são sempre importantes como um complemento e aplicação da teoria a ser trabalhada em quaisquer disciplinas”.</i>
P4G2 - <i>“Uma experiências sempre tornam mais fácil a compreensão dos assunto de Física. Deveríamos sempre propor experiências que estão relacionadas à disciplina que estamos trabalhando para melhor compreensão por parte de nossos alunos”.</i>

- 5) Cite alguns aspectos positivos e também alguns aspectos negativos da proposta de trabalho apresentada no minicurso. Nove dos professores não destacaram pontos negativos e 100% destacaram vários pontos positivos, conforme podemos verificar nos exemplos de respostas abaixo:

Exemplos
P1G1 - <i>“O minicurso demonstrou como ponto positivo que a Astrofísica está relacionada com muitos outros conteúdos, mas o ponto negativo é que essa matéria não é estudada até mesmo por nós da área de exatas, ficando um pouco difícil trabalhar um conteúdo desconhecido”.</i>
P2G1 - <i>“A proposta apresentada deixou claro para nós como os conteúdos de Física podem ser utilizados para o desenvolvimento de assuntos de outras disciplinas, tornando mais fácil a compreensão do que estamos estudando”.</i>

- 6) Na sua opinião, em que o trabalho proposto no minicurso pode ser melhorado? Dê algumas sugestões para a sua implementação no futuro.

Dois dos professores não souberam opinar, e oito escreveram que deveríamos incluir mais atividades experimentais, conforme os exemplos de respostas a seguir:

Exemplos
<i>P1G2 - “Poderia ser melhorado se a Astrofísica fosse um conteúdo mais conhecido por todos, mas isso não depende apenas de uma pessoa. Para a implementação poderia começar com uma feira sobre Astrofísica envolvendo atividades experimentais”.</i>
<i>P4G1 - “Poderia ser melhorado se as matrizes curriculares contemplassem o conteúdo de astronomia/astrofísica como disciplinas obrigatórias e se todas as escolas tivessem como norma a utilização de experimentos nas aulas de ciências”.</i>

Agregado aos bons resultados obtidos pelos professores nas atividades realizadas durante o minicurso e confirmadas através das respostas dadas nos itens anteriores onde suas opiniões foram registradas, podemos avaliar que os objetivos da nossa proposta foi alcançada. Os dados corroboram nossa opinião de que a Astrofísica pode ser utilizada como elemento motivador para o ensino de Física.

A partir do momento que o professor e também o estudante de licenciatura em Física percebem que os conteúdos a serem aprendidos têm alguma ligação com o que conhecem, e a sua capacidade de integrar diversas áreas interdisciplinares, desenvolvem um potencial maior para a aprendizagem, uma vez que esses novos conhecimentos passam a fazer sentido. Assim, entendemos que a ideia de desenvolver um material voltado para o ensino de Física com ênfase em um experimento que possa ser aplicado à introdução, de forma significativa, de tópicos de Astrofísica no curso de Licenciatura em Física, fundamentado na teoria sócio interacionista de Vigotski, pode ser considerada uma experiência bem sucedida de complementar os currículos dos cursos de formação de professores de Física.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Nesta dissertação, procuramos elaborar um material que possibilite uma introdução significativa à Astrofísica, com a realização de uma atividade experimental que possa ser utilizada com os alunos dos cursos de Licenciatura em Física, tendo como fundamentação teórica a teoria sócio interacionista de Vigotski.

Conforme constatamos através da participação dos professores de Física no minicurso, a falta de profissionais licenciados em Física nas escolas é um problema. Encontramos, ministrando aulas de Física, professores de Matemática, Ciências /Biologia e Engenheiros, que durante a graduação cursaram algumas disciplinas de Física, mas na sua maioria não obtiveram a habilitação para lecionar a disciplina.

Constatamos ainda que, as respostas do questionário que aplicamos para avaliar o minicurso, demonstram outro fator agravante presente nos cursos de formação de professores, confirmando o que previmos inicialmente, que a Astronomia/Astrofísica não são estudadas durante sua formação. Além disso, assuntos de Física relacionados à Astronomia, que fazem parte dos currículos da educação básica, são pouco ou quase nada abordados durante o curso de Licenciatura. Dessa forma, os estudantes, futuros professores, sentem-se inseguros conceitual e metodologicamente para trabalhar com tópicos que abordem a Astronomia/Astrofísica em sala de aula.

A proposta deste trabalho, focada em uma concatenação lógica e a realização de uma atividade experimental, permitiram confirmar que uma metodologia com enfoque em um conteúdo significativo para o estudante é fundamental para despertar nele o prazer pela Física, a construção de significado e a valorização do que está sendo aprendido, proporcionando a eles uma segurança maior quando forem discutir e comentar esses assuntos em sua futura profissão.

Para elaborar o material nessa perspectiva, é preciso desenvolver uma metodologia adequada e dispor de materiais de ensino que facilitem a ocorrência da aprendizagem de forma significativa. Na elaboração dessa dissertação, tivemos sempre como meta seu desenvolvimento de acordo com a teoria sócio interacionista de Vigotski.

Um ponto positivo que observamos com a aplicação desta proposta foi que as atividades desenvolvidas abordaram temas adequados e exigiram um nível de conhecimento adequado ao interesse e ao estágio de desenvolvimento cognitivo dos participantes. Observamos que ao atuar na zona de desenvolvimento proximal (VIGOTSKI, 2001), a

aprendizagem e o desenvolvimento intelectual dos professores participantes foram favorecidos. Podemos afirmar que o experimento foi acessível, permitindo o levantamento dos problemas e análise das situações propostas.

Uma das finalidades do trabalho foi dar significado ao conhecimento adquirido, visando o aperfeiçoamento do processo de ensino e aprendizagem, investindo em novas propostas que possam viabilizar a motivação dos alunos e dirigir a aprendizagem para objetivos bem definidos através de problemas práticos.

Com esta abordagem, podemos afirmar que foi possível instigar nos professores o raciocínio, o espírito investigativo, a cooperação mútua na solução dos problemas e a troca de conhecimentos. Outra contribuição que já esperávamos e foi confirmada, foi a tese de que com a atividade experimental o ensino poderia ser planejado para oferecer estratégias favoráveis à apropriação dos conceitos físicos.

Percebemos também que a teoria sócio histórica de Vigotski apontou contribuições significativas para a atividade experimental e a metodologia utilizada no Ensino de Física, pelo fato de que na medida em que os professores executavam as atividades propostas, surgiram questionamentos suscitando várias discussões no grupo.

Com relação ao tema que abordamos, continuamos acreditando e sustentando que assuntos referentes à Astrofísica são apropriados e altamente motivadores para estudantes do curso de Licenciatura em Física. Durante o minicurso, observamos o interesse e motivação dos participantes com o que estava sendo trabalhado. Eles reconheciam a importância da compreensão significativa dos temas para suas possíveis aplicações em sala de aula. Constantemente indagavam, comentavam e confrontavam seus conhecimentos iniciais com os novos conceitos apresentados.

Analisando os resultados encontrados com a aplicação da atividade experimental, comprovamos que a aprendizagem se concretizou por meio da interiorização dos conceitos, fazendo com que novas estruturas de pensamento se originassem nas interações entre os grupos e se internalizassem por meio da linguagem.

Pelos resultados apresentados e analisados no capítulo anterior, cremos que a proposta desenvolvida alcançou os objetivos propostos. Acreditamos que o minicurso foi exitoso e pode ser repetido, com convicção de sucesso, com estudantes do curso de Licenciatura em Física. No entanto, nada impede que ele seja adaptado e aplicado a outros cursos de formação de professores principalmente da área de ciências. Salientamos que ao desenvolver a proposta aqui apresentada, o foco foi a aplicação para estudantes de Licenciatura em Física. Assim,

assuntos como as Leis de Kepler, as Leis de Newton e a Lei da Gravitação Universal, e o conceito científico de força gravitacional se constituem como pré-requisitos importantes para a compreensão dos assuntos abordados.

Por fim, considerando os bons resultados aqui alcançados, este trabalho se apresenta como uma boa alternativa metodológica capaz de desenvolver conceitos científicos nos alunos. Com esta proposta, temos a expectativa de ter lançado uma importante contribuição para os futuros professores de Física do ensino médio.

APÊNDICE A: Atividades de Astrofísica para o Estudante de Licenciatura e o Equilíbrio Hidrostático do Sol

1 Apresentação

O estudo e a observação do céu constituem uma forma agradável e eficiente para os alunos experimentarem ciência enquanto exploram a sua vizinhança no Universo. Dessa forma, a abordagem de tópicos de Astrofísica e Astronomia na formação de professores de Física tem como vantagem a frequente integração de conteúdos fascinantes a partir da observação do Cosmo.

Os jovens, e aqui estão incluídos os professores, gostam de alcançar novos horizontes. Através dos conhecimentos de Astrofísica eles passam a ser os exploradores, podendo escolher quais objetos estudar (estrelas, planetas, asteroides, cometas, galáxias, etc.), adquirindo a capacidade de planejar e fazer observações.

A Astrofísica e a Astronomia são áreas interdisciplinares por excelência. A Astrofísica tem a capacidade de integrar as áreas de:

- Matemática, na elaboração de modelos permitindo não só a quantificação dos fenômenos astronômicos, mas também uma descrição lógica da sua natureza e da sua evolução, vemos que a Astrofísica é permeada pela Matemática;
- Computação, a modelagem computacional trata da simulação de soluções para problemas da Astrofísica, analisando os fenômenos, desenvolvendo modelos matemáticos para sua descrição e elaborando códigos computacionais para obtenção de soluções;
- Física, no entendimento do contexto da evolução estelar;
- História e Geografia, com estudos sobre regiões e realidades socioculturais dos sítios de observação;
- Antropologia, para estudos comparados sobre a diversidade cultural dos conceitos astronômicos;
- Artes, na representação simbólica e plástica de objetos astronômicos;
- Mitologia, nas definições e conceito sobre as constelações, número e nomenclatura das estrelas, que estabelecia uma relação entre os deuses e os astros, etc.

Dominando o conteúdo de Física necessário ao entendimento dos conceitos abordados neste trabalho, o futuro professor de Física será capaz de propor atividades com níveis diferenciados de complexidade, que podem ser adequados aos vários níveis do ensino.

Surge então a necessidade de elaborar um material voltado para o ensino de Física com ênfase em um experimento que possa ser aplicado à introdução, de forma significativa, de tópicos de Astrofísica no curso de Licenciatura em Física, levando o futuro professor a fazer inferências acerca da integração de conteúdos de Física que a Astrofísica proporciona, desenvolvendo o aprendizado a partir de uma sequência em que a cronologia das ideias é justificada por uma concatenação lógica.

Centrados em uma concatenação de ideias e conceitos em direção à compreensão do processo de geração de energia no Sol, fazemos o uso de pequenos textos contendo alguns trechos adaptados de OLIVEIRA FILHO & OLIVEIRA SARAIVA (2004) e de CAPELATO (2003), de uma sequência de exercícios e de uma experiência, que constitui na estimativa da energia que chega à Terra, emitida pelo Sol, por unidade de tempo e de área, chamada de “constante solar”. A constante solar nos permitirá determinar a luminosidade bolométrica do Sol, que em astronomia, é uma grandeza relacionada à energia total emitida por uma estrela, e será usada na determinação da temperatura efetiva do Sol, conforme veremos neste apêndice, nos possibilitando determinar o mecanismo de geração da energia do astro, que servirá para fazermos comparações que nos levarão a conclusões importantes.

Buscamos a compreensão de conceitos que nos levem ao entendimento do processo de geração de energia no interior do Sol, objetivando responder à seguinte questão: de onde vem toda sua energia, luz e calor, que somos capazes de ver e sentir, e que o caracteriza como uma estrela, que é a mais próxima da Terra?

Consideramos para o desenvolvimento deste material, que os alunos de Licenciatura em Física já possuem o conhecimento das Leis de Kepler, das Leis de Newton e da Lei da Gravitação Universal, implicando em considerar que o conceito científico de força gravitacional foi desenvolvido.

Além disso, notamos que os professores sentem-se pressionados em atenderem às necessidades dos alunos, por encontrarem na literatura os conteúdos que pretendemos abordar, porém de forma desamarrada e sem conexão, não levando o estudante a compreender as relações que levam os cientistas a chegarem a determinadas conclusões acerca dos fenômenos celestes observados.

Veremos que a determinação da distância entre a Terra e Marte, para a qual se faz uso da paralaxe geocêntrica, permite determinar a distância entre a Terra e o Sol fazendo-se uso da 3ª Lei de Kepler.

Fazendo uso da Lei de Newton da Gravitação Universal, da constante gravitacional G , determinada por Cavendish e da distância Terra-Sol, poderemos calcular a massa solar.

Quando se olha o céu à noite, é possível ver que algumas estrelas são mais brilhantes do que outras. Dois fatores determinam o brilho observado de uma estrela: a luminosidade ou potência luminosa, que é uma característica intrínseca da estrela, e a distância em que o astro se encontra do observador. A luminosidade, independente da distância em que a estrela encontra-se do observador, enquanto o brilho aparente observado depende da distância, por exemplo, se a fonte pode ser considerada puntiforme e emitindo por igual em todas as direções, o brilho varia com o quadrado da distância, através de uma lei do tipo inverso do quadrado.

Com a Constante Solar e a distância Terra-Sol chegamos à potência luminosa do astro, o que nos permite inferir a temperatura da sua fotosfera, e entender o porquê da luz emitida pelo Sol ser amarelada.

Poderemos, ainda, estimar a temperatura do núcleo, através de considerações de equilíbrio, levando em conta a energia cinética necessária para equilibrar uma “esfera” com a massa e o raio do Sol. Com a estimativa da temperatura no núcleo do Sol podemos fazer uma comparação entre diversos tipos de combustíveis capazes de produzir tal temperatura e a reserva de combustível necessária para o Sol queimar durante sua vida. O aluno perceberá através de condições de equilíbrio que a temperatura e a pressão no interior da estrela se tornam tão altas a ponto de ocorrer fusão nuclear.

1.1 Atividades propostas

A figura 2 mostra o organograma com a concatenação de ideias rumo à elaboração do conceito de geração da energia solar.

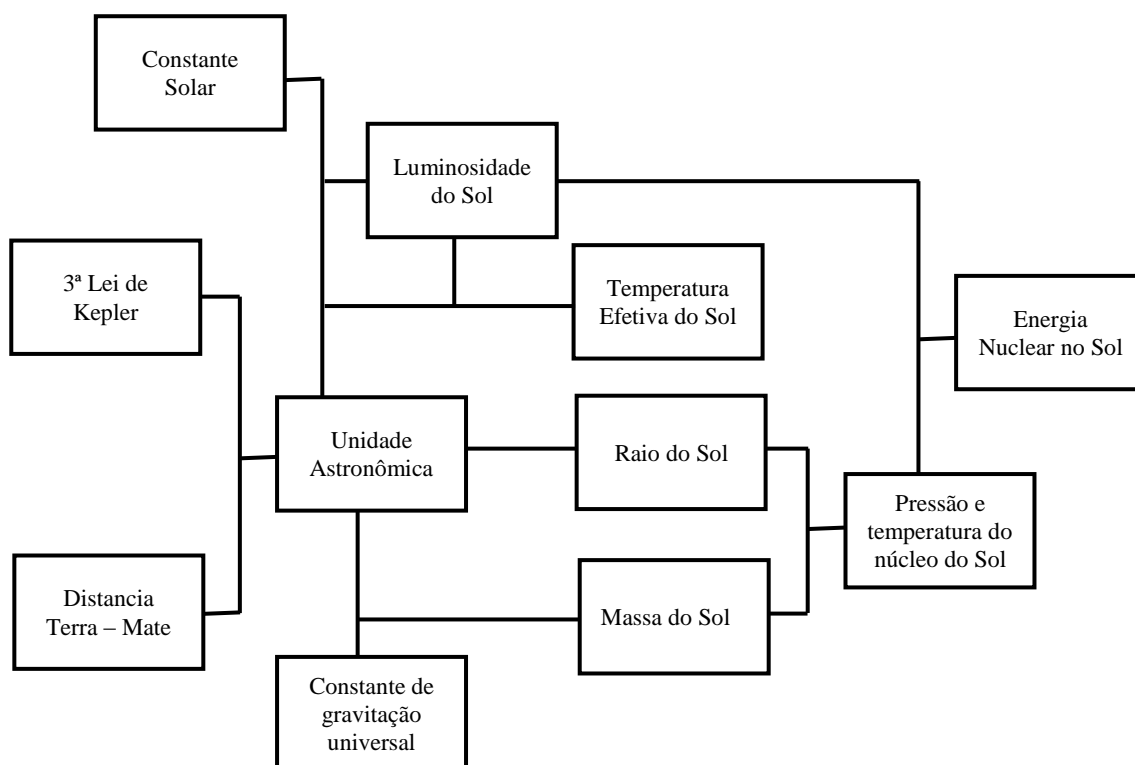


Figura 2: Organograma com o desenvolvimento da proposta de trabalho
 Fonte: elaborado pelo autor

1.1.1 Determinação da distância da Terra ao Sol

Quando olhamos para o céu, em seu conjunto, a distância das estrelas é tão grande que perdemos a noção de profundidade num primeiro momento. Todas as estrelas parecem então estar à mesma distância, coladas numa grande esfera, a “esfera celeste”.

Através de nossas observações, podemos constatar que só temos acesso diretamente a um quadro bidimensional do céu, dado por esta esfera. Assim, a elaboração de um quadro tridimensional exige o conhecimento das distâncias aos astros. Essa distância também é necessária para a determinação de parâmetros físicos como a luminosidade das estrelas. A luminosidade, ou potência luminosa, é a quantidade de energia que um corpo irradia por unidade de tempo. Veremos que o conhecimento da distância da Terra ao Sol também é necessário para a determinação de sua massa.

O método mais comum para se medir distâncias grandes, a pontos inacessíveis, é a triangulação que nos permite medir o ângulo de “paralaxe”, dado pela diferença na posição aparente de um objeto visto por observadores em locais distintos, isto é, o ângulo entre as direções de observação do astro correspondentes aos dois pontos extremos da linha de estação.

A figura 3, disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/dist/dist.htm>, exemplifica como a triangulação pode ser usada para medir a distância da Terra à Lua. O diâmetro da Terra foi usado como linha de base.

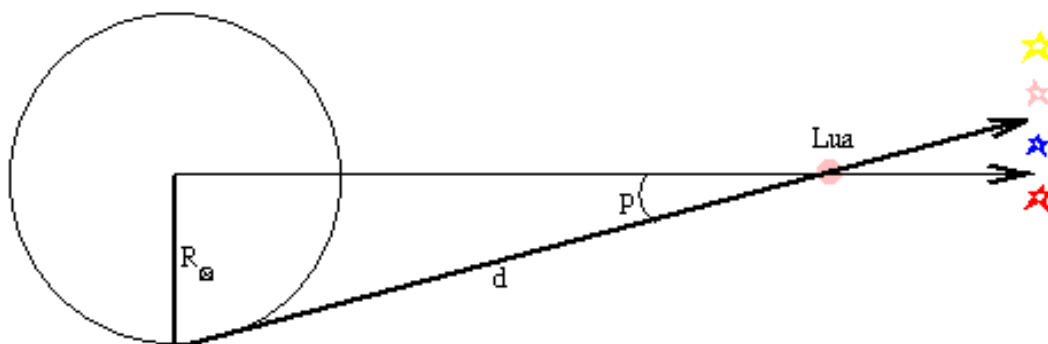


Figura 3: Triangulação usada na determinação da distância Terra à Lua – Kepler de Souza Oliveira Filho
Fonte: OLIVEIRA FILHO, (2004, p. 137).
Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/dist/dist.htm>.

Porém como as estrelas estão muito distantes da Terra, a linha de base do triângulo formado entre as duas posições do observador e a estrela deve ser muito grande para que o ângulo paralático seja perceptível, podendo ser medido somente com a utilização de telescópios com grande abertura, caso contrário essa medição seria impossível devido à limitação imposta pela difração da luz. A difração dificulta a medida de ângulos pequenos, mas o efeito dela é diminuído quando se aumenta a abertura do telescópio.

Para fazer a medida de distância entre a Terra e planetas do sistema solar, ou até a Lua, o diâmetro da Terra pode ser usado como linha de base. Já para medir a distância da Terra às estrelas próximas, é utilizado o diâmetro da órbita da Terra como linha de base.

A terceira lei de Kepler, publicada em 1618, chamada lei harmônica, afirma que, num referencial fixo no Sol, o quadrado do período de revolução de um planeta ao redor da estrela é proporcional ao cubo do semieixo maior da elipse que representa a órbita do planeta.

Com a terceira lei de Kepler, podemos fazer uma avaliação das distâncias relativas dos planetas ao Sol. No entanto, a determinação da distância absoluta do planeta ao Sol exige que se conheça a distância entre pelo menos dois planetas para uma determinada fase de suas órbitas. A distância média Terra-Sol é chamada de Unidade Astronômica e, à época de Kepler, o seu valor constituía um grande mistério.

Vários foram os métodos utilizados para se calcular essa distância, sendo que a primeira estimativa do valor da Unidade Astronômica foi proposta por Cassini em 1671, consistindo em fazer observações simultâneas de um mesmo planeta, relativamente próximo,

por dois observadores situados em pontos bem afastados sobre a superfície terrestre. A primeira aplicação deste método tomou como base a distância Paris – Cayena, de onde foram feitas as observações do planeta Marte.

Conhecida a distância Paris – Cayena e os ângulos medidos pelos observadores, o problema se reduzia à solução de um triângulo retângulo. Esta medida permitiu chegar à conclusão de que Marte estava a uma distância de 72.563.350,85 km da Terra. Sabendo-se, por meio da 3ª Lei de Kepler, que a distância Terra-Marte é de 0,524 UA, pode-se calcular a distância média Terra-Sol: 149.600.000 km.

O exercício seguinte clarifica como a 3ª Lei de Kepler pode ser utilizada na determinação da Unidade Astronômica.

Exercício 1 – Considere que os planetas Terra e Marte encontram-se alinhados com o Sol, estando a Terra na sua maior aproximação de Marte, quando a distância entre eles era de aproximadamente 77 milhões de quilômetros. Considerando que suas órbitas em torno do Sol são aproximadamente circulares e sendo o período orbital de Marte $T_M = 687$ dias e o período orbital da Terra T_T de 365 dias, use a 3ª Lei de Kepler para estimar a distância entre a Terra e o Sol. Compare com o valor acima mencionado.

Resposta:

O movimento dos planetas em torno do Sol é regido pela terceira lei de Kepler:

$$\frac{d^3}{T^2} = K$$

em que K é uma constante e seu valor foi explicado mais tarde com a mecânica newtoniana.

Considerando o alinhamento Terra/Marte, dividimos a equação acima para a Terra com a mesma expressão para Marte e ficamos com:

$$\left(\frac{d_T}{d_M}\right)^3 = \left(\frac{T_T}{T_M}\right)^2$$

na qual o sub índice T se refere à Terra e M, a Marte.

Como o período de translação da Terra é $T_T = 365$ dias e o de Marte $T_M = 687$ dias, podemos substituir estes valores na expressão acima para obtermos:

$$d_M = 1,52 d_T$$

Sendo:

$$d_M = d_T + 77 \times 10^6 \text{ km, vem:}$$

$$1,52 d_T = d_T + 77 \times 10^6$$

$$\begin{aligned}
1,52 d_T - d_T &= 77 \times 10^6 \\
0,52 d_T &= 77 \times 10^6 \\
d_T &= 77 \times 10^6 / 0,52 \\
d_T &= 148,07 \times 10^6 \\
d_T &= 148.070.000 \text{ km}
\end{aligned}$$

O valor encontrado com o exercício acima para a distância da Terra ao Sol é muito próximo do valor médio que encontramos na literatura. Atualmente, a determinação de distâncias aos planetas do sistema solar é feita por radar e não mais por triangulação.

Além da medida da unidade astronômica que pode ser estimada com o exercício anterior, propomos um exercício onde o aluno irá estimar a medida do diâmetro do Sol, que será muito necessário mais adiante.

Exercício 2 – Considerando a distância entre a Terra e o Sol de aproximadamente 148.070.000 km, e sabendo que o diâmetro angular do Sol observado da Terra com o auxílio de um teodolito (equipado com filtro) ou um quadrante é de aproximadamente $32' \approx 0,53^\circ$, estime o diâmetro do Sol.

Resposta:

Na Astronomia, diâmetro angular é o diâmetro aparente do objeto a uma certa distância medido em graus. O diâmetro angular é usado para medir o tamanho de objetos no céu vistos da Terra. Pelo conhecimento de sua distância a partir da Terra, com seu diâmetro angular é possível então calcular o seu diâmetro real.

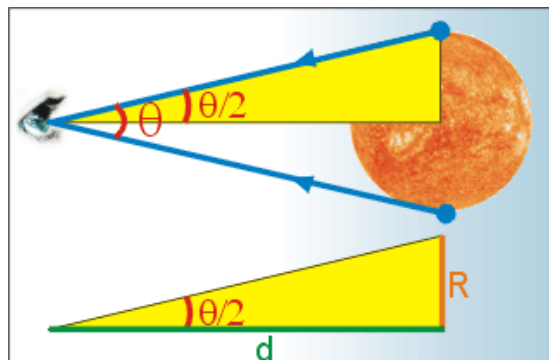


Figura 4 – Diâmetro angular do Sol

Fonte: Ilustração do texto “O Tamanho Aparente dos Astros”

Disponível em: http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/arch2005-08-21_2005-08-27.html

A figura 4 nos mostra um observador que olha para o Sol. O tamanho observado do Sol vai depender do ângulo θ de abertura do cone de luz que deixa o Sol e chega aos olhos do observador. Considerando o Sol aproximadamente esférico e que seu diâmetro $D = 2R$ (R é o

raio solar), e tomando a mediatriz do ângulo θ teremos um triângulo retângulo com um ângulo $\theta/2$, e podemos escrever:

$$\operatorname{tag} \frac{\theta}{2} = \frac{R}{d}$$

$$\operatorname{tag} \frac{0,53^\circ}{2} = \frac{R}{1,48 \cdot 10^8}$$

$$R = 1,48 \cdot 10^8 \times 0,00463$$

$$R = 0,00685 \times 10^8$$

$$R = 6,85 \times 10^5 \text{ km, logo}$$

$$D_{\text{Sol}} = 1,37 \times 10^6 \text{ km}$$

1.1.2 Determinação da Massa Solar

Newton escreveu em sua obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* “*Matéria atrai matéria com uma força proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas*”.

O princípio da Gravitação Universal enunciado por Newton, diz que "dois corpos se atraem segundo uma força que é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa". Com este princípio, Newton postulou a hipótese de que os corpos celestes tinham natureza idêntica à dos terrestres, e aos seus movimentos se aplicavam as mesmas leis, considerando que as forças exercidas sobre a Lua pela Terra, ou pela Terra sobre uma maçã eram da mesma natureza. Tal princípio explica, por exemplo, o movimento da Lua em torno da Terra, através da interpretação da “queda” da Lua em direção à Terra.

Uma vez que conhecemos a distância Terra-Sol determinada no exercício 1 e a Lei da gravitação universal, como poderíamos determinar a massa do Sol?

Observamos na literatura, notas de aula – 2º semestre/1996 do Instituto de Física da USP – FEP 156 – Gravitação 3ª parte p. 166, que a aplicação da Lei da Gravitação Universal de Newton não necessitava do conhecimento numérico da constante gravitacional G , uma vez que Newton tinha consciência da dificuldade de determinar o valor numérico preciso dessa

constante, devido a enorme dificuldade em medir forças gravitacionais diretamente. Então como poderíamos obter o valor de G ?

Para se obter o valor de G , seria necessário conhecer a intensidade da força gravitacional entre dois corpos que pudessem ser manipulados, o que fazia com que outro problema surgisse, uma vez que as forças de interação gravitacional são extremamente fracas nas experiências realizadas em laboratórios, onde as massas são pequenas.

Para determinação de G precisávamos do conhecimento do valor da força gravitacional entre dois corpos, de suas massas e da distância entre eles. O maior dos problemas, portanto, era a determinação da força de atração gravitacional que foi medida somente no final do século XVIII, por volta do ano 1798, quando o físico Henry Cavendish (1731 – 1810), conseguiu medir com grande precisão o valor da constante gravitacional G .

Cavendish utilizou um aparato experimental muito sensível, que consistia de uma balança de torção construída com um fio de fibra de quartzo do qual é suspensa uma barra contendo duas esferas de massa conhecida m como mostra a figura 5.



Figura 5 – Balança de torção – O ENGENHO e a Arte, Coleção de Instrumentos do Real Gabinete de Física da Universidade de Coimbra;

Fonte: CALOUSTE GULBENKIAN (1997, p. 396).

Disponível em: <http://thesaurusonline.museus.ul.pt/ficha.aspx?t=o&id=96>

A experiência de Cavendish obteve o valor de G , demonstrando o que Newton supunha, que a sua lei era verdadeira para qualquer par de corpos.

Mas ainda não respondemos ao questionamento inicial de como se chegar à massa do Sol. Para responder ao questionamento acima, propomos na forma de exercício, que o estudante de Física utilizando-se da Lei da Gravitação Universal, obtenha a massa do Sol. A massa do Sol, conforme vimos anteriormente, é necessária na determinação da força de atração gravitacional entre ele e os demais astros do sistema solar.

Exercício 3 – Estimar a massa do Sol a partir do período de revolução da Terra (1 ano), do raio médio da órbita da Terra ($1,48 \times 10^{11}\text{m}$) e do valor de G ($6,67 \times 10^{-11}\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$).

Resposta:

Considerando que a órbita do planeta em torno do Sol seja aproximadamente circular, e que a resultante das forças que atuam sobre a Terra aponta para o centro da circunferência, podemos igualá-la à força gravitacional, o que nos permite escrever:

$$F_{RC} = F_G$$

$$M_T \frac{v^2}{R} = \frac{G M_T M_{\odot}}{R^2}$$

$$M_{\odot} = \frac{R \cdot v^2}{G},$$

em que v é a velocidade da Terra em torno do Sol e o seu valor é de $2,98 \times 10^4$ m/s, R a distância média do planeta à estrela e G é a constante gravitacional

$$M_{\odot} = \frac{1,48 \cdot 10^{11} (2,98 \cdot 10^4)^2}{6,67 \cdot 10^{-11}},$$

$$M_{\odot} \approx 1,97 \times 10^{30}\text{Kg}.$$

Como a massa do planeta Terra pode ser usada para determinar a massa de planetas telúricos do sistema solar, propomos na forma de exercício, que com o conhecimento do valor de G e da aceleração da gravidade, o estudante de Física utilizando-se da Lei da Gravitação Universal estime a massa do planeta.

Exercício 4 – Estimar a massa da Terra (M_T) considerando seu raio médio $R_T = 6,36 \times 10^6$ m, a aceleração da gravidade em sua superfície $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ e a constante de gravitação universal $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$.

Resposta:

Da Lei da Gravitação Universal de Newton temos que:

$$F = \frac{G M_T m}{r^2}$$

Igualando com o princípio fundamental da dinâmica (segunda Lei de Newton) vem:

$$F = m \cdot g = \frac{G M_T m}{r^2}$$

$$\text{Logo: } M_T = \frac{g \cdot r^2}{G}$$

$$M_T = \frac{9,8 \cdot (6,36 \cdot 10^6)^2}{6,67 \times 10^{-11}}$$

$$M_T = 5,9 \times 10^{24} \text{ kg}$$

1.1.3 Determinação da luminosidade do Sol

O fluxo de radiação luminosa emitido pelo Sol e recebido aqui na Terra “ f ”, é o fluxo de radiação que chega ao topo da atmosfera terrestre e é recebida em uma superfície perpendicular a direção do Sol.

A grandes distâncias do Sol, muito maiores que o seu diâmetro de aproximadamente $1,4 \times 10^6$ km (calculado no exercício 2), podemos considerar o fluxo de radiação dele proveniente como sendo emitido por uma fonte puntiforme, isto é, emitido igualmente em todas as direções a partir da fonte. Deste modo, a uma distância d do Sol, o fluxo de radiação escreve-se como:

$$f = \frac{L}{4\pi d^2}, \quad (1)$$

onde L é a luminosidade (ou potência luminosa) do Sol. Considerando-se a emissão em todos os comprimentos de onda, o fluxo de radiação proveniente do Sol e recebido na Terra é chamado de “constante solar”. Logo, uma vez conhecidos os valores da distância da Terra ao Sol, que foi determinada na seção anterior, e da constante solar, a expressão (1) acima permite calcular a luminosidade do Sol.

Propomos um experimento para estimar a ordem de grandeza da quantidade de energia proveniente do Sol e recebida na Terra a cada segundo, e em seguida utilizando a distância Terra-Sol, relacioná-la com a luminosidade emitida pelo Sol, que apesar de não ser o objetivo

do nosso trabalho, é uma grandeza indispensável, pois, nos permitirá entender conceitos mais importantes, rumo ao processo de geração de energia no interior da estrela.

Descreveremos adiante o experimento proposto que possibilita a estimativa da ordem de grandeza da constante solar. Ele consiste em submeter uma bacia contendo água, de fundo preto, à luz do Sol, e cronometrar o tempo t que a água leva para sofrer uma variação ΔT na sua temperatura. Admitindo que devido ao fundo preto toda a radiação é absorvida pela água, a energia que a água recebe é:

$$E = fAt, (2)$$

onde A é a área da abertura da bacia. Como esta energia é usada para variar a temperatura da água, temos também:

$$E = mc\Delta T, (3)$$

onde m é a massa da água da bacia e c é o seu calor específico ($c = 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$). Igualando as equações (2) e (3) vemos que a constante solar fica determinada por:

$$f = \frac{mc\Delta T}{At}. (4)$$

Quando medimos seu valor fora da atmosfera terrestre e com a utilização de um detector perfeito, encontramos $f = 1360 \text{ W/m}^2$, o que significa que uma área de 1 m^2 na superfície da Terra recebe 1360 Joules de energia na forma de luz a cada segundo.

1.1.4 Metodologia utilizada no experimento da bacia com água e equipamento necessário:

- uma bacia;
- água;
- termômetro;
- fita adesiva preta;
- recipiente graduado para medida de volume;
- relógio cronômetro;
- calculadora.



Figura 6 – Bacia utilizada no experimento
Fonte: Foto do autor



Figura 7 – Cronômetro digital
Fonte: Foto do autor



Figura 8 – Becker utilizado para a medida do volume da água
Fonte: Foto do autor



Figura 9 – Termômetro graduado na escala Celsius.
Fonte: Foto do autor

A ideia básica desta experiência é colocar uma bacia com água sob o Sol e observar o aumento da temperatura da água devido à absorção da energia solar. A partir deste aumento da temperatura, pode-se calcular a quantidade de energia absorvida. Sabemos que, por definição, é necessária uma caloria para aumentar a temperatura de um centímetro cúbico de água em um grau Celsius.

Para um melhor resultado na experiência utilize uma bacia vazia e cubra seu interior com material plástico preto. O objetivo desta cobertura preta é propiciar a maior absorção de energia possível. Ao lado da cobertura preta, instale com fita adesiva um termômetro para medir a temperatura da água.

Devemos orientar os alunos que de preferência, façam o experimento num dia sem nuvens e sem vento. Devem ser feitas medidas de temperatura ao Sol e depois na sombra. As

medidas de temperatura na sombra devem ser feitas para determinar a quantidade de calor que fluirá para dentro ou para fora da bacia, que não seja devido à incidência solar direta.

Os alunos devem fazer pelo menos quatro medidas de temperatura, a serem anotadas na tabela abaixo, duas no Sol e duas na sombra. Para cada medida, coloque água fria na bacia.

A quantidade de água deve ser sempre a mesma, tomando o cuidado de não encher a bacia completamente evitando assim um possível transbordamento.

Para um mesmo intervalo de tempo de exposição da bacia com água ao Sol e na sombra, com a equação (3) podemos determinar a quantidade de energia absorvida pela amostra de água, que é aproximadamente igual ao número de calorías emitidas pelo Sol.

Para determinar a constante solar, devemos ainda calcular a área coletora da bacia. Finalmente, dividimos as calorías calculadas anteriormente pela área coletora, e pelo intervalo de tempo de exposição ao Sol e obtemos o número de calorías absorvidas por minuto e por $\text{cm}^2 \equiv \text{CONSTANTE SOLAR}$, desconsiderando os efeitos atmosféricos como: altitude do local e altura do Sol.

Pedimos então, que os alunos façam as seguintes atividades:

1. Determine a constante solar como descrito acima;
2. Usando a equação (1), calcule a luminosidade do Sol a partir do valor da constante solar determinada anteriormente. Compare com o valor da luminosidade do Sol contido em tabelas astronômicas;
3. Preencha a tabela abaixo com os dados coletados.

	Hora Início	Temperatura	Hora Fim	Temperatura	ΔT
Sol					
Sol					
Sombra					
Sombra					

Orientação:

1ª medida:

Coloque a bacia com água sob o Sol, e meça imediatamente a temperatura. Anote na tabela 1 a hora e a temperatura medida. Procure maximizar a superfície preta exposta ao Sol. Talvez seja necessário reajustar a posição da bacia ao longo da exposição, de modo a mantê-la

o mais perpendicular possível em relação aos raios do Sol. Após 15 minutos de exposição ao Sol, anote novamente a hora e a temperatura medida.

2ª medida:

Repita o procedimento descrito para a 1ª medida.

3ª e 4ª medidas:

Repita os procedimentos da 1ª medida colocando o mesmo volume de água fria usada na 1ª e 2ª medidas, porém deixando a bacia na sombra, “protegendo-a” dos raios do Sol, medindo a temperatura imediatamente e após 15 minutos.

Calcule a variação de temperatura durante 15 minutos. As duas medidas no Sol e as duas medidas na sombra devem ser semelhantes. Se não forem, algum erro deve ter sido cometido durante o experimento (por exemplo, passagem de nuvens, etc.).

Tabela 1

Dados obtidos em uma realização do experimento

	Hora Início	Temperatura	Hora Fim	Temperatura	ΔT
Sol	10:55	19,0°C	11:10	23,5°C	4,5°C
Sol	11:15	19,0°C	11:30	23,6°C	4,6°C
Sombra	10:55	19,0°C	11:10	19,3°C	0,3°C
Sombra	11:15	19,0°C	11:30	19,4°C	0,4°C

Fonte: Dados da pesquisa

Varição da temperatura no Sol: $[(23,5^\circ - 19,0^\circ) + (23,6^\circ - 19,0^\circ)] / 2 = 4,55C$

Varição da temperatura na sombra: $[(19,3^\circ - 19,0^\circ) + (19,4^\circ - 19,0^\circ)] / 2 = 0,35^\circ C$

Varição total da temperatura: $\Delta t = 4,2^\circ C$

Volume de água utilizado no experimento: 2 litros



Figura 10 – Medida da temperatura inicial da água (sombra e sol)
Fonte: Foto do autor

Propomos que o estudante de física calcule a luminosidade do Sol utilizando os dados obtidos no experimento anterior, e estabeleceremos no apêndice C deste trabalho uma relação da luminosidade do astro com a temperatura efetiva T_{ef} da sua fotosfera (camada visível do astro).

Conforme podemos constatar na literatura, OLIVEIRA FILHO & OLIVEIRA SARAIVA (2004, p. 122 – 123), só podemos observar uma delgada camada superficial do Sol, a fotosfera, que emite a luz que faz o Sol visível, por isso, estaremos considerando, a fotosfera a superfície do Sol.

Medidas realizadas com maior precisão mostram que a energia emitida por segundo, por metro quadrado, e que chega ao topo da atmosfera da Terra (a constante solar) vale: $f = 1,36 \times 10^3 \text{ W/m}^2$ (valor medido fora da atmosfera da Terra e que usaremos para posteriores considerações), e com base na conservação da Quantidade de Energia, podemos calcular a luminosidade L , que é a potência total irradiada pelo sol.

$$E = mc\Delta t \rightarrow \frac{mc\Delta T}{A \Delta t} = f$$

$$\frac{2000g \cdot \frac{1cal}{g^{\circ}C} \cdot 4,2^{\circ}C}{363cm^2 \cdot 15min} = f$$

$$f = 1,54cal/min.cm^2 = 1,54 \cdot 4,2 / 10^{-4} \cdot 60 = 1078W/m^2,$$

valor que é muito próximo do valor que encontramos na literatura, como por exemplo no livro “Astronomia & Astrofísica, Oliveira Filho, Kepler de Souza e Saraiva, Maria de Fátima Oliveira (2004) 2ª edição página 127”.

O exercício seguinte clarifica os possíveis motivos da diferença entre o valor calculado com os dados do experimento realizado e o valor encontrado na literatura.

Exercício 5 – Por que o valor encontrado no experimento da bacia com água difere do valor tabelado de f ?

Resposta:

Encontraremos o valor de f obtido por este experimento sempre menor do que os $1360 J/s/m^2$ mencionado acima. Isso porque a atmosfera da Terra absorve grande parte da luz do Sol, especialmente se houver nebulosidade ou nuvens e se o valor da inclinação do Sol no céu for muito grande (o que ocorre no inverno). Para se obter um valor de f mais próximo ao encontrado na literatura, é mais aconselhável realizar este experimento nos meses de verão e/ou próximo ao meio dia, de um dia de céu limpo, sem neblina ou nuvens.

Propomos o exercício seguinte para que o estudante determine a luminosidade do Sol a partir do valor da constante solar e da unidade astronômica. O valor encontrado será necessário para a compreensão de conceitos importantes mais adiante.

Exercício 6 – Usando o valor da “constante solar” ($1367,5 W/m^2$) e $1UA = 1,5 \times 10^{11} m$, determine a luminosidade bolométrica do Sol que em Astronomia, é uma grandeza relacionada à energia total emitida por uma estrela, (não estamos portanto fazendo separação por comprimento de onda) e compare o valor encontrado com o valor tabelado.

Resposta:

A partir de f podemos calcular a luminosidade do astro, lembrando que a área A de uma esfera (considerando o Sol uma esfera) com raio de $1 UA$ é:

$$A = 4 \pi r^2 = 4 \pi (1,50 \times 10^{11} m)^2$$

Considerando esta distância, cada metro quadrado da superfície da Terra recebe energia do Sol à taxa dada pela constante solar, o que nos permite calcular a luminosidade L_{\odot} do Sol através da equação (1):

$$L_{\odot} = Af = 4 \pi (1,50 \times 10^{11} \text{ m})^2 (1,36 \times 10^3 \text{ W/m}^2) = 3,85 \times 10^{26} \text{ W}$$

1.1.5 Determinação da temperatura da fotosfera solar

Em 1879, o físico austríaco Josef Stefan, interessado em descobrir como corpos quentes se resfriavam através da emissão de radiação, chegou à conclusão de que a radiação total de um corpo é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta. Tal descoberta ficou conhecida como lei de Stefan, introduzindo uma constante conhecida como constante de Stefan-Boltzmann.

$$I = \sigma T^4$$

Chamamos de radiação térmica, a radiação emitida por um corpo devido à sua temperatura. Podemos organizar essa radiação na forma de um espectro eletromagnético, construindo uma tabela com os vários comprimentos de onda, que normalmente estão relacionados com a composição do corpo emissor.

A energia cinética dos átomos e moléculas que compõem a matéria sofre variações. Essas variações de energia fazem com que as partículas fiquem sujeitas a acelerações que provocam oscilações das cargas que compõem os átomos. Esse movimento de cargas geram a radiação eletromagnética.

Dessa forma, podemos concluir que a radiação térmica depende de várias propriedades da superfície irradiante, como temperatura, capacidade de absorção e emissividade espectral, como concluiu Kirchhoff em seus estudos.

Uma vez que a radiação não é monocromática, o que significa que devemos considerar várias frequências ou comprimentos de onda na dispersão contínua de energia das partículas, sua absorção, refletividade e emissividade dependerão do comprimento de onda da radiação emitida, que é determinado pela temperatura.

Conforme podemos verificar na literatura, há quatro propriedades gerais que caracterizam a irradiação térmica:

- a radiação térmica emitida por um corpo negro em qualquer temperatura possui vários comprimentos de onda e frequências. A distribuição da frequência é dada pela Lei de Planck para um emissor ideal.
- o intervalo dominante de frequências aumenta proporcionalmente com a temperatura, conforme a Lei de Wien.
- a quantidade total de radiação, em todas frequências, aumenta de acordo com a temperatura elevada à sua quarta potência, conforme a Lei de Stefan-Boltzmann.
- a taxa de radiação eletromagnética emitida em determinada frequência é proporcional ao total absorvido pelo corpo à mesma frequência. Assim, uma superfície que absorve mais a luz vermelha irradia termicamente mais a luz vermelha. Este princípio é aplicado a todas as demais propriedades de onda, inclusive comprimento de onda (cor), direção, polarização e coerência. Portanto, é possível ter irradiação térmica direcional, polarizada e coerente, embora isso, na natureza, seja muito raro longe de sua fonte.

Podemos dizer que o espectro de radiação térmica emitida por um corpo depende da sua composição. Porém existe um tipo de corpo que chamamos de corpos negros que emitem espectros de caráter universal, ou seja, suas superfícies absorvem toda a radiação térmica que incide sobre eles, e emitem um espectro que pode ser usado como parâmetro por ter um caráter universal.

Estamos considerando que a superfície do Sol faz o papel do orifício por onde sai a radiação de um corpo negro, pois um corpo negro, independentemente do material com que é confeccionado, emite radiações térmicas com a mesma intensidade, a uma dada temperatura e para cada comprimento de onda. Por isso usamos o corpo negro para o estudo das radiações emitidas. Através do orifício tem-se a emissão de radiação por aquecimento.

Com a luminosidade do Sol determinada na seção anterior, podemos estabelecer uma relação com a temperatura efetiva T_{ef} , uma vez que a radiação térmica emitida é gerada pelo movimento de partículas carregadas na matéria.

Sabemos que toda substância com temperatura superior a 0 K emite radiação térmica. De uma forma geral, podemos considerar que um corpo negro emite o mesmo espectro que outro corpo negro arbitrário, se ambos estiverem em uma mesma temperatura. A figura 11 nos mostra três distribuições para corpos negros em diferentes temperaturas.

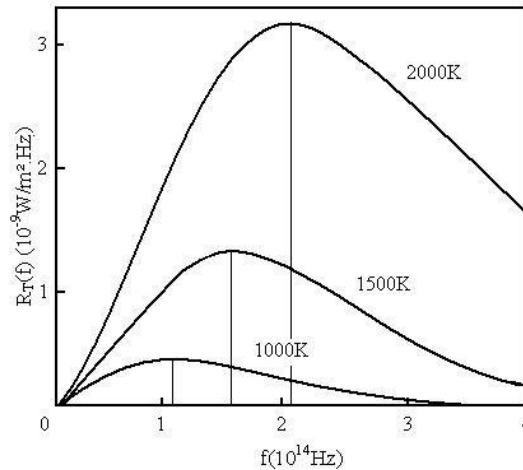


Figura 11 – Gráfico da radiação de um corpo negro.
 Fonte: EISBERG & RESNICK (1988, p. 21)

Estamos considerando que os comprimentos de onda da luz emitida pelo Sol foram medidos no intervalo de 10^{-13} m, até cerca de 10m, cobrindo aproximadamente 99% da potência irradiada pelo astro, sendo que em quase todo esse intervalo, o espectro solar coincide com o espectro da radiação do corpo negro da lei de Planck.

Propomos na forma de exercício que o aluno estime a temperatura da fotosfera solar e utilize o estudo da radiação térmica para explicar o valor encontrado.

Exercício 7 – Usando a luminosidade e o raio do Sol, já determinados anteriormente, determine a temperatura efetiva do Sol através da lei de Stefan-Boltzmann e com a lei de Wien determine o comprimento de onda para o qual a emissão é máxima.

Resolução:

Podemos admitir que a radiação emitida pelo Sol é a radiação de um corpo negro, e com isso usar a luminosidade do astro, juntamente com seu raio ($6,85 \times 10^8$ m) para estimar a temperatura da superfície do Sol, utilizando a equação de Stefan-Boltzmann:

$$I = \sigma T_e^4$$

como $I = \frac{L_{\odot}}{4\pi R_{\odot}^2}$, vem:

$$\frac{L_{\odot}}{4\pi R_{\odot}^2} = \sigma T_e^4$$

calculando temos:

$$T_e^4 = \left(\frac{L_{\odot}}{4\pi\sigma R_{\odot}^2} \right) = \left[\frac{3,85 \times 10^{26}}{4\pi (6,85 \times 10^8)^2 (5,67 \times 10^{-8})} \right]^{1/4} \approx 5.800K$$

Uma forma de conferirmos se a temperatura obtida para a superfície solar $T = 5.800\text{K}$ está coerente com a realidade, seria compararmos a distribuição espectral da energia emitida pelo Sol com a do corpo negro a 5.800K , conforme a figura 13.

Devido à interação sofrida pela radiação que foi emitida no núcleo até sair na fotosfera do Sol, podemos utilizar o estudo da radiação térmica para explicarmos o valor encontrado para a temperatura da superfície solar.

A figura 12 representa o método utilizado por um astrônomo através dos índices de cores para uma estrela, após corrigir o avermelhamento e extinção interestelar, pode obter uma temperatura precisa do astro.

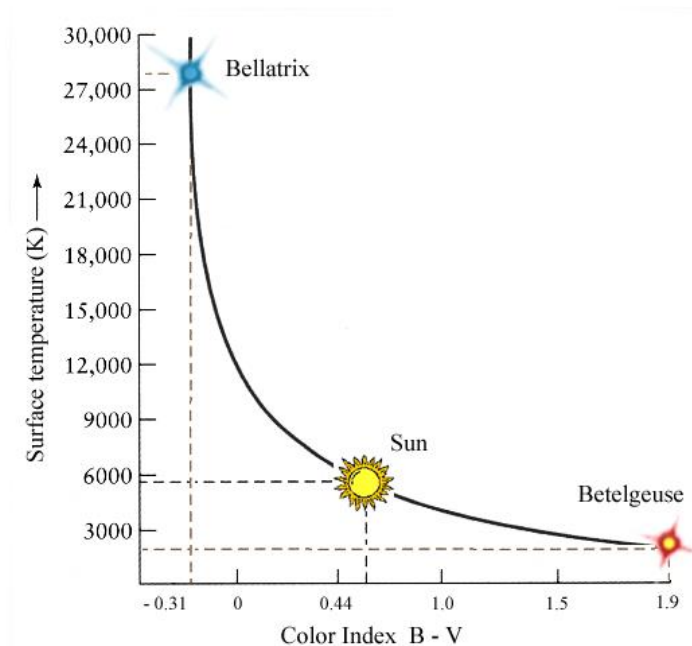


Figura 12 – Gráfico da cor da luz visível do Sol com temperatura superficial de 5.800 K
Disponível em: https://docs.kde.org/trunk5/pt_BR/kdeedu/kstars/ai-colorandtemp.html

A figura 13 mostra que o pico da distribuição está na região do amarelo do espectro visível, motivo pelo qual vemos o Sol amarelado, indicando uma concordância entre o espectro observado e o teórico.

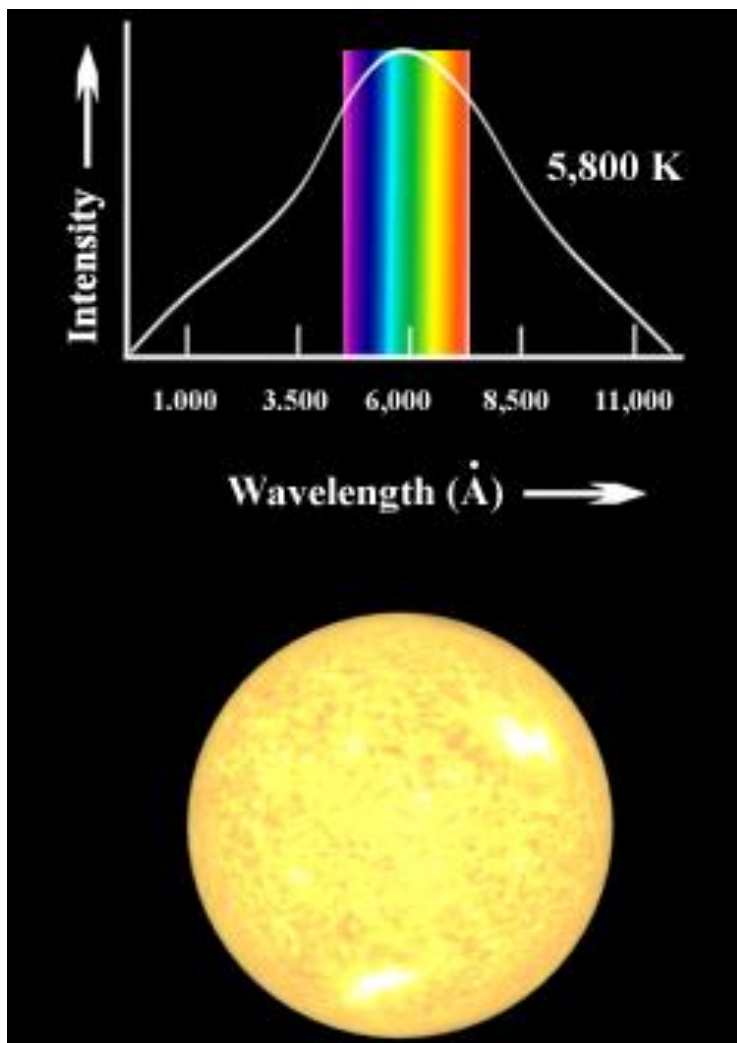


Figura 13 – Gráfico da curva espectral por comprimento de onda.
Disponível em: https://docs.kde.org/trunk5/pt_BR/kdeedu/kstars/ai-colorandtemp.html

1.1.6 Explicação para a luminosidade do Sol

De acordo com os nossos cálculos no exercício 3, a massa da nossa estrela é de aproximadamente 300.000 vezes a massa da Terra, ou seja, 2×10^{30} kg. Na tabela 2, vemos o quanto de energia, aproximadamente, conseguimos com a queima de um quilograma de determinados combustíveis:

Tabela 2

Energia liberada por kg de combustível

Combustível	Energia liberada / kg
Madeira	14.000.000 J
Carvão vegetal	33.000.000 J
Gasolina	41.000.000 J

Fonte: Dados da pesquisa

Com base na tabela 2, surge um novo questionamento: seria possível, explicar a criação de energia no Sol através de um desses combustíveis, que fazem parte do nosso dia-a-dia ?

Para responder ao questionamento, propomos na forma de exercício, que o estudante de Física calcule o potencial energético do Sol com os combustíveis da tabela.

Exercício 8 – Calcule qual seria o potencial energético do Sol caso toda sua energia fosse composta por madeira ou pelos demais combustíveis da tabela 2 e estime o tempo que o Sol poderia ficar queimando estes combustíveis.

Resposta:

Multiplicando-se a massa do Sol pela energia liberada pela madeira vem: $2 \times 10^{30} \times 1,4 \times 10^7 \text{J} = 2,8 \times 10^{37} \text{ J}$. Dessa forma, se essa energia fosse gasta na taxa de $3,85 \times 10^{26} \text{ J/s}$, sabendo que um watt é igual a um joule por segundo, o Sol poderia viver $7,1 \times 10^{10}$ segundos, o que equivale a pouco mais de dois mil anos. Logicamente, o Sol é mais velho que isso.

Se refizermos os cálculos para o carvão vegetal, chegaríamos à conclusão de que o Sol deveria ter apenas $5,3 \times 10^3$ anos; para a gasolina $6,5 \times 10^3$ anos.

Esses dados nos levam à conclusão de que deve haver algum outro mecanismo fornecedor de energia, responsável pelo brilho e pelo calor que recebemos do Sol.

Durante muito tempo procurou-se entender o que acontecia no interior da nossa estrela, até que o físico inglês Lorde Kelvin e o cientista alemão Hermann Helmholtz, propuseram que o Sol está aos poucos colapsando sobre si mesmo devido a sua enorme força gravitacional.

De acordo com a literatura, OLIVEIRA FILHO & OLIVEIRA SARAIVA (2004, p. 127 – 128), uma fonte de energia que o Sol e as outras estrelas têm, e que é importante na fase de formação, é a energia resultante da contração gravitacional.

O resultado dessa teoria é que com a diminuição do seu volume, veríamos um aumento de pressão e, também de temperatura. Tal mecanismo explicaria a geração de calor.

De acordo com MACIEL (1999), o modelo mais simples da estrutura estelar é a aproximação quase estática de simetria esférica. Baseado nesse modelo, podemos afirmar que o Sol, assim como todas as estrelas, são enormes bolas de gás muito quente que irradiam energia pelo espaço interestelar. A energia que é gerada no centro do astro, é lentamente difundida por toda a estrela até chegar à sua superfície e daí emitida para o espaço.

Como o calor sempre flui das regiões mais quentes para as regiões mais frias, podemos concluir que o centro das estrelas deve ser muito mais quente que a sua superfície. Na verdade, a temperatura central das estrelas é extremamente grande. No Sol, por exemplo, a temperatura do núcleo atinge um valor de aproximadamente $1,5 \times 10^7$ K, temperatura que é 2.500 vezes maior que a temperatura da sua superfície, conforme veremos mais adiante.

A temperatura do núcleo das estrelas varia de maneira aproximadamente proporcional à sua massa. Podemos dizer que as estrelas são bolas de gás quente que produzem enormes forças gravitacionais devido a sua enorme massa, com isso, as forças gravitacionais geradas por elas mesmas mantêm a sua coesão. Para exemplificar imaginemos uma pequena porção da massa da estrela que chamaremos de “diferencial de massa” a uma certa distância do seu centro. A força gravitacional produzida pelo resto da massa da estrela interior à posição da pequena massa que tomamos é que produz o seu peso, que a puxa em direção ao centro da estrela.

Porém, o peso da pequena massa que tomamos como exemplo, tem que ser contrabalançado por uma outra força, caso contrário ela seria atraída em direção ao núcleo do astro e, isso deveria ocorrer também com o restante da estrela, que assim iria colapsar. A pressão exercida pelo gás quente que forma o interior da estrela é responsável por tal força¹.

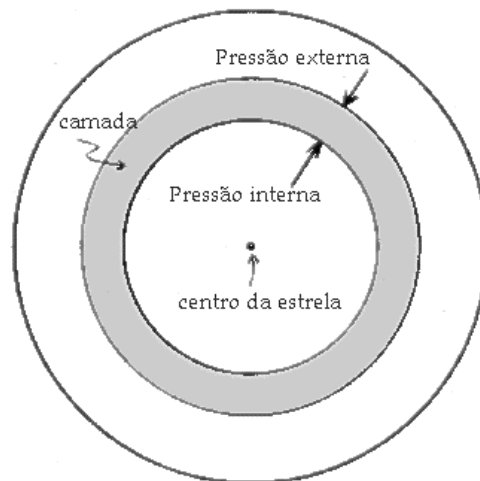
Quando comparamos a força exercida pela pressão do gás para fora (o que chamaremos de diferença, ou gradiente, de pressão) com a força gravitacional exercida para dentro, considerando ainda o interior da estrela como uma camada esférica imaginária, feita do gás contido entre as suas duas superfícies, tal como na Figura 13, podemos chegar a explicações interessantes.

A pressão exercida pelo gás da estrela exerce força na face interna da camada para fora, ao mesmo tempo que devido à força gravitacional, o gás da estrela empurra a face externa da camada para dentro. Considerando que a estrela está em equilíbrio, o que significa dizer que a camada não se move, o próprio peso da camada irá contrabalançar a diferença entre as pressões externa e interna, de modo que:

$$\text{Diferença de pressões} = \text{peso da camada} \quad 2$$

A expressão acima é chamada de equação de equilíbrio hidrostático. Podemos imaginar a estrela como formada por um grande número de camadas esféricas, de forma que, à medida que vamos em direção ao centro do astro, a pressão do gás aumenta ao passarmos de uma camada para outra (CAPELATO, 2003, p.15).

Quando chegamos ao centro, a pressão se torna máxima. Nas regiões centrais das estrelas a pressão do gás atinge valores incrivelmente grandes: no centro do Sol ela é de 10^{11} atm (100 bilhões de atmosferas), o que equivaleria, na Terra, a uma coluna pesando 100 milhões de toneladas, cuja base fosse uma moedinha de 1 centavo!



$$\begin{aligned} \text{pressão interna} - \text{pressão externa} &= \\ &= \text{diferença de pressões} = \\ &= \text{peso da camada} \end{aligned}$$

Figura 14 – O equilíbrio hidrostático do Sol.

Fonte: INPE

Disponível em: <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2003/08.14.14.53/doc/capitulo5.pdf>

¹ Assim como o gás, o campo de radiação eletromagnética também exerce uma pressão que contribui de forma significativa para o equilíbrio da estrela.

² A forma correta de se escrever esta equação seria: $P_{\text{int}} \cdot A_{\text{int}} - P_{\text{ext}} \cdot A_{\text{ext}} = \text{peso da camada}$, sendo P_{ext} e P_{int} as pressões externa e interna respectivamente e A_{ext} e A_{int} as áreas externa e interna, respectivamente, da camada.

Segundo Capelato (2003), a densidade média de massa do Sol é cerca de $1,4 \text{ g/cm}^3$, isto é, 1,4 vezes a densidade da água. Porém, a densidade no centro do Sol é mais de 100 vezes maior, o que equivale a aproximadamente 150 g/cm^3 .

Devido às enormes pressões que predominam, podemos garantir que não existe nada parecido no universo das substâncias sólidas ou líquidas que poderiam existir a esta densidade. Dessa forma, concluímos que o único estado físico da matéria que pode existir no Sol, bem como nas estrelas em geral, é a forma gasosa, a temperaturas altíssimas.

Como a pressão de um gás é proporcional ao produto da sua temperatura pela sua densidade, resulta então, que altas pressões implicam em altas temperaturas. Esta é a explicação das altas temperaturas no interior das estrelas: a necessidade de grandes pressões que equilibrem a força de gravidade produzida pela enorme quantidade de massa que as estrelas contêm.

O gás do interior de uma estrela, a temperaturas extremamente altas (da ordem de milhões de graus) não podem se parecer com aqueles que estamos familiarizados (como por exemplo a atmosfera em que vivemos). Seus átomos se movem a altíssimas velocidades, centenas de quilômetros por segundo. Ao colidirem uns com os outros, e podemos dizer que isso ocorre frequentemente devido ao meio ser muito denso, a interação é violenta a ponto de os elétrons serem arrancados dos átomos que se tornam ionizados. Nestas condições, o gás consiste, de fato, de núcleos atômicos e elétrons movendo-se independentemente. A radiação que é fornecida por este gás quente e denso é composto de raios X intensos, e não da radiação luminosa que escapa da superfície relativamente fria da estrela. Entretanto, cada fóton de raios X pode viajar em média $1 \mu\text{m}$ no interior da estrela, antes de ser capturado ou desviado por algum núcleo ou elétron do gás, isso nos permite explicar o porquê das estrelas, ao contrário dos planetas, serem particularmente luminosas.

Da conservação da energia, quando a energia gravitacional diminui devido à contração, aumenta a energia cinética das partículas que constituem o interior da estrela (aumentando assim sua energia térmica). Logo, a energia total da estrela é:

$$E = E_G + E_T$$

onde E_G é a energia gravitacional e E_T a energia térmica.

Do teorema de Virial, que permite calcular a energia cinética total mesmo para sistemas complicados que não têm uma solução exata, como por exemplo em mecânica estatística, vemos que em um sistema de partículas que interagem gravitacionalmente, se a

energia cinética média do sistema E_c e a energia potencial média do sistema E_{pG} não variam significativamente no tempo, então $E_c = -1/2E_{pG}$.

Supondo que a energia inicial é zero, e que a estrela teve início em uma nuvem muito grande cujo raio seria muito maior que o raio do Sol, o que torna a energia muito pequena, e levando em consideração que a energia potencial gravitacional de uma esfera de massa M e raio R é igual a $-GM^2/R$, a energia gerada pela contração e irradiada será da ordem de:

$$\frac{1}{2} E_G = \frac{1}{2} GM^2/R$$

Propomos na forma de exercício que o estudante de física calcule o tempo de vida do Sol, se sua luminosidade se devesse à contração gravitacional.

Exercício 9 – Estime o tempo de vida do Sol, caso sua luminosidade se devesse à contração gravitacional.

Resposta:

A contração gravitacional poderia sustentar a luminosidade do Sol durante determinado tempo, que chamamos de tempo térmico, ou tempo de contração de Kelvin (t_K), e pode ser calculado pela equação:

$$t_K = \frac{E_T^{\odot}}{L_{\odot}} = \frac{1}{2} \frac{G M_{\odot}^2}{L_{\odot} R_{\odot}}$$

sendo $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$; $M_{\odot} = 1,99 \times 10^{30} \text{kg}$; $R_{\odot} = 6,95 \times 10^8 \text{m}$, e $L_{\odot} = 3,9 \times 10^{26} \text{J/s}$, teremos:

$$t_K \approx 10^{15} \text{s} = 2,0 \times 10^7 \text{anos}$$

Os cálculos acima indicam que se o mecanismo da contração gravitacional fosse o responsável pela energia do Sol, o tempo de vida do astro não seria mais do que alguns milhões de anos, tempo que seria muito curto, e evidências geológicas indicam que o Sol tem uma unidade de bilhões de anos, como por exemplo a idade geológica do aparecimento dos ancestrais das algas azuis, também chamadas cianofíceas ou cianobactérias a cerca de 3,8 bilhões de anos, no período Arqueano, conforme publicação em <http://ufopeaecologiaevolutiva.blogs.sapo.pt/2011/06/>, e sabemos que os planetas, a Terra por exemplo, que surgiu depois do Sol tem cerca de quatro bilhões de anos.

Isto se evidencia também, através de descobertas de animais fossilizados como, por exemplo, animais aquáticos simples, que teriam vivido a cerca 760 milhões de anos, segundo a revista Galileu do dia 12/02/2012 também disponível na página

<http://revistagalileu.globo.com/busca/?q=f%C3%B3sseis&page=3> e fósseis de até 3,5 bilhões de anos de acordo com OLIVEIRA FILHO & OLIVEIRA SARAIVA (2004, p. 236).

Conforme vimos, no interior das estrelas a temperatura é extremamente alta devido às altas pressões necessárias para equilibrar a força exercida pela gravidade. Porém de acordo com Capelato (2003), é a radiação produzida por este gás quente, lentamente escapando em direção à superfície, a responsável pela luminosidade da estrela.

Com o surgimento da relatividade restrita proposta por Einstein em 1905, vimos que existe uma relação entre massa e energia dada por: $E = mc^2$, ou seja, cada 1g de massa equivale a 9×10^{13} J de energia. Com essa equivalência entre massa e energia, em 1919 o astrofísico inglês Eddington mostrou que a conversão de hidrogênio em hélio liberaria energia suficiente para alimentar o Sol. Tal processo foi chamado de fusão nuclear, cujos detalhes do mecanismo foram fornecidos na década de 1930 pelos físicos Hans Bethe e Carl Weizsäcker.

Dessa forma estava explicado o mecanismo de liberação de energia nas estrelas, mostrando que no processo de fusão nuclear, quatro núcleos de hidrogênio se juntam para formar um núcleo de hélio (dois prótons e dois nêutrons). Nessa transformação, verifica-se um excedente de $4,8 \times 10^{-32}$ g, que são transformados em $4,32 \times 10^{-18}$ J de energia.

Sendo a potência do Sol $3,85 \times 10^{26}$ J/s, e o astro realizando aproximadamente 10^{44} reações desse tipo em um segundo, verificamos que mais de quatro milhões de toneladas de matéria se transformam em energia a cada segundo, o que equivale a dizer que o Sol perde $2 \times 10^{-19}\%$ de sua massa. Fazendo os cálculos, verificamos que somente cerca de 0,025% de toda a matéria que compõe o Sol já foi transformada em energia.

Assim, o Sol, bem como todas as estrelas que se mantêm ativas, possuem um núcleo no qual realizam as reações de fusão nuclear e um manto através do qual o calor e a radiação são transportados mediante processos de radiação e convecção. Essas reações nucleares que ocorrem no núcleo da estrela compensam a perda de energia. Dessa forma, a estrela se mantém luminosa por grandes períodos de tempo.

A camada superficial das estrelas, sua atmosfera, é a região onde são produzidos os fenômenos visíveis tais como protuberâncias solares, ejeções de massa coronal, manchas solares, etc.

Podemos dizer ainda, que as estrelas são essencialmente luminosas por causa das grandes massas que contém, ou seja, quanto maior a massa mais intensa a queima de energia nuclear.

Em uma seção esférica qualquer, a massa não experimenta expansões nem contrações, pelo que se considera um sistema quase-estático. Assim mesmo sua forma se aproxima bastante com a de uma esfera. Assim como as demais estrelas do universo, o Sol permanece estável a maior parte de sua vida sob o equilíbrio hidrostático. Como vimos, nesta situação, a gravidade e a pressão se contrapõem.

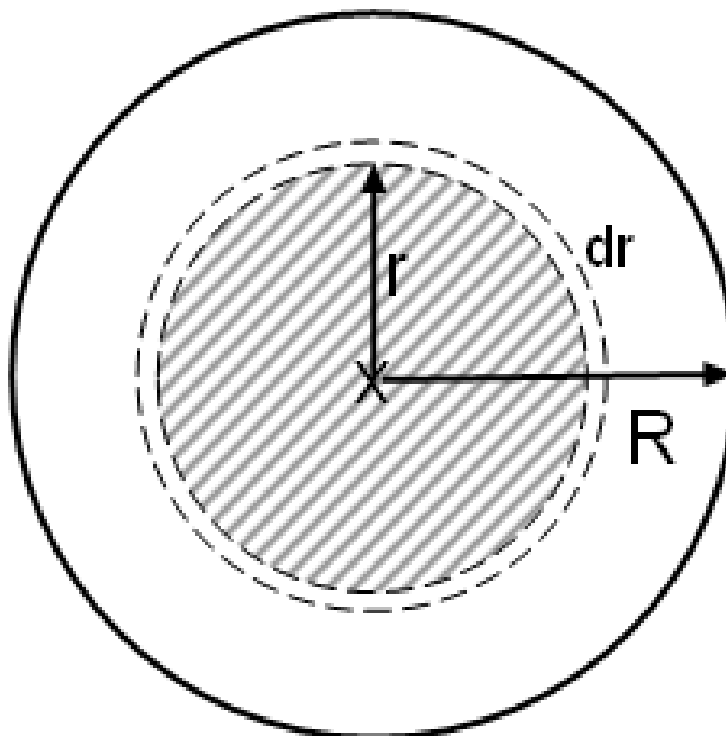


Figura 15 – Esquema de uma estrela.
Fonte: Wikipedia
Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Estrutura_estelar

Entretanto, a estaticidade não é total, uma vez que, até certo ponto, a pressão próxima da superfície vence ligeiramente, permitindo uma saída constante de massa na forma de vento solar, que é mais evidenciada em estrelas com massa a partir de 10 massas solares. Nestas estrelas supermassivas, os ventos são tão intensos que a massa que escapa delas chega a modificar significativamente a massa total da estrela, chegando inclusive a variar sua evolução natural.

Conforme citamos anteriormente a existência de fósseis de até 3,5 bilhões de anos, são evidências de que a temperatura da Terra não pode ter variado mais que aproximadamente 20°C , o que indica que o interior das estrelas precisa estar em perfeito equilíbrio, o chamado equilíbrio hidrostático.

Estando o Sol em equilíbrio, todas as forças que atuam em qualquer elemento de volume dentro da estrela têm que ser compensadas, já que uma força resultante não nula

implicaria movimentos e, portanto, mudanças na estrutura. As únicas forças que precisamos considerar são a força gravitacional, para dentro, e a força de pressão, para fora.

Conforme OLIVEIRA FILHO & OLIVEIRA SARAIVA (2004, p. 236), considerando um elemento de volume cilíndrico, a uma distância r do centro da estrela, a diferença entre a força de pressão na parede interna e na parede externa pode ser calculada por:

$$- \frac{dP}{dr} dsdr,$$

em que ds é a seção transversal, dr o comprimento e P é a pressão, que será uma função decrescente, da distância r ao centro. Logo, a força gravitacional que atua sobre o mesmo volume será dada pela massa do volume vezes a aceleração gravitacional:

$$\rho dsdr \frac{G M_r}{r^2},$$

onde ρ é a densidade e G é a constante gravitacional. Podemos expressar a massa M_r de uma esfera em termos de sua densidade por:

$$M_r = \int_0^r \rho 4\pi r^2 dr \text{ (Equação 1)}$$

Igualando as duas forças opostas, obtemos a condição de equilíbrio hidrostático:

$$\frac{dP}{dr} = - \rho \frac{G M_r}{r^2} \text{ (Equação 2)}$$

Apesar de as equações 1 e 2 sozinhas serem insuficientes para determinar como a pressão, densidade e massa variam com a distância ao centro da estrela, elas permitem obter uma estimativa da ordem de grandeza da pressão e temperatura no interior do astro. A pressão central (P_c) do astro, é a do ponto de maior pressão de toda a estrela, já que este ponto suporta o peso de toda a massa por inteiro.

Propomos na forma de exercício que o estudante estime a pressão e a temperatura no interior do Sol através de considerações de equilíbrio hidrostático.

Exercício 10 – Com a equação do equilíbrio hidrostático, estime a pressão e a temperatura no interior do Sol. Considere $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$; $M_\odot = 1,97 \times 10^{30} \text{ kg}$ e $R_\odot = 6,95 \times 10^8 \text{ m}$.

Resposta:

Utilizando a equação 2 (equação do equilíbrio hidrostático) para um ponto no meio do Sol, e para uma primeira estimativa, a densidade média do Sol, $\overline{\rho_\odot} = \frac{3M_\odot}{4\pi R_\odot^3} = 1,39 \text{ g cm}^{-3}$, para $M_r = (1/2) M_\odot$, a metade da massa do Sol, $M_\odot = 1,97 \times 10^{33} \text{ g}$, e para $r = (1/2)R_\odot$ a metade do raio do Sol, $R_\odot = 685.000 \text{ km}$, sendo $dr = R_\odot$ e para $dP = P_{\text{centro}} - P_{\text{superf}}$, e assumindo que $P_{\text{superf}} \ll P_{\text{centro}}$, $G = 6,67 \times 10^{-8} \text{ dina cm}^2 \text{ g}^{-2}$, obtemos:

$$\frac{P_{centro}}{R_{\odot}} = \frac{G M_{\odot}/2}{R_{\odot}^2/4} \bar{\rho}_{\odot},$$

$$P_{centro}^{\odot} \approx 2 \bar{\rho}_{\odot} \frac{G M_{\odot}}{R_{\odot}} = 5,3 \times 10^{15} \text{ dina cm}^{-2} \text{ em unidades do c.g.s.}$$

$$\text{ou } P_{centro}^{\odot} \approx 5,3 \times 10^{14} \text{ Pa,}$$

para a pressão no interior do Sol. O valor encontrado a partir do equilíbrio hidrostático para a pressão no interior do astro é alto o suficiente para possibilitar a fusão nuclear, mas, mediante cálculos a partir de modelos mais refinados, encontramos um valor ainda maior, e obtemos $2,7 \cdot 10^{16} \text{ Pa}$, conforme publicação em http://pt.wikipedia.org/wiki/Estrutura_estelar.

A partir da estimativa de pressão, podemos estimar a temperatura, usando a equação de estado de um gás ideal, que é válida para a maioria das estrelas. Da equação do gás ideal temos:

$$P = N k T = \frac{k}{m} \rho T,$$

em que T é a temperatura, k a constante de Boltzmann, e m o peso molecular médio, já que $N = \rho/m$. Para m usaremos a metade da massa do próton, uma vez que o hidrogênio é o elemento mais abundante, e para hidrogênio ionizado, um próton e um elétron atuam como duas partículas com massa média de meia massa do próton já que $m_e \ll m_p$.

De uma forma geral, $P = P_{\text{gás}} + P_{\text{rad}}$, o que significa que, precisamos levar em conta a pressão do gás e a pressão de radiação, mas no interior de estrelas de baixa massa, como o Sol, $P_{\text{rad}} \ll P_{\text{gás}}$, podendo ser desprezada. Aplicando a equação acima para a pressão central do Sol, e usando a densidade média do Sol, obtemos: $T_{centro}^{\odot} \approx 10^7 \text{ K}$.

Assim, encontramos uma temperatura típica no interior do Sol de 10 milhões de Kelvin. O importante de encontrarmos essa temperatura altíssima no interior do astro é que ela possibilita a fusão nuclear.

Podemos ainda, observar que a desobediência ao equilíbrio hidrostático, levaria a mudanças significativas no raio da estrela. Como o raio do Sol não mudou significativamente durante bilhões de anos, caso contrário a temperatura na Terra teria variado drasticamente, a equação de equilíbrio hidrostático é satisfeita numa primeira aproximação. Se não existisse o equilíbrio hidrostático, as estrelas simplesmente explodiriam ou implodiriam. Modelos mais refinados mostram que existem regiões do Sol onde ocorrem transporte de energia por correntes de convecção.

Essa temperatura da ordem de $\approx 10^7$ K e pressão de $2,7 \cdot 10^{16}$ Pa no interior do Sol, permitem a fusão nuclear, pois estão de acordo com a quantidade de energia no qual se dão a maioria das reações nucleares nas estrelas.

Somente no núcleo do astro encontramos temperaturas suficientemente altas para permitir as reações termonucleares e apenas 0,7% da massa solar que entra na reação é transformada em energia.

Propomos na forma de exercício que o aluno calcule o tempo de queima do Sol devido à fusão nuclear.

Exercício 11 – Calcule o tempo de vida do Sol, levando em consideração a relação existente entre massa e luminosidade.

Resposta:

O tempo de vida do Sol (ou de qualquer outra estrela), pode ser calculado a partir da razão entre a energia que ele tem disponível e a taxa com que ele gasta essa energia, ou seja, a luminosidade.

Uma vez que a luminosidade de uma estrela é tanto maior quanto maior for a sua massa, resulta que o tempo de vida é controlado pela massa da estrela, ou seja, quanto maior a massa, mais rapidamente ela gasta sua energia e conseqüentemente menos tempo de vida ela terá.

No Sol, as reações de fusões termonucleares produzem como resultado a transformação de hidrogênio (quatro prótons) em hélio (partícula α), havendo uma diferença entre a massa que entra na reação e a massa que sai. Essa diferença de massa é transformada em energia. Pela equação de Einstein: $E = mc^2$;

$$4m_p (4,0324u) \rightarrow 1m_\alpha (4,0039u)$$

em que u = unidade de massa atômica = $1,66 \times 10^{-27}$ kg.

A diferença de massa será:

$$\Delta m = (4,0324 - 4,0039)u = 0,0285u$$

$$\frac{0,0285 u}{4,0324 u} = 0,007 = 0,7\%$$

O cálculo acima indica conforme vimos anteriormente que 0,7% da massa que entra na reação é transformada em energia, e portanto, é a massa que se encontra no núcleo do Sol.

Como a massa da estrela contida no núcleo é de aproximadamente 10% da massa total da estrela, concluímos que apenas 10% da massa total do astro contribui para a geração de energia durante a maior parte de sua vida.

Logo, a energia disponível será:

$$E = 0,007 \times 0,1 \times M \times c^2$$

$$E^{\odot} = 0,007 \times 0,1 \times M_{\odot} \times c^2 = 0,007 \times 0,1 \times 1,99 \times 10^{30} \text{kg} \times (3 \times 10^8 \text{m/s})^2$$

$$E^{\odot} = 1,26 \times 10^{44} \text{J}$$

Como o tempo de vida do Sol é igual à razão entre a energia nuclear disponível e a luminosidade do astro (que calculamos no exercício 6) podemos escrever:

$$t^{\odot} = \frac{1,26 \times 10^{44}}{3,9 \times 10^{26}} = 3,29 \times 10^{17} \text{s} = 10^{10} \text{anos}$$

O tempo de vida do Sol que encontramos no cálculo acima, devido a liberação de energia de reações nucleares, está coerente com o tempo de vida do planeta Terra (que é mais novo que o Sol), pois, conforme vimos em seção anterior, evidências geológicas indicam o aparecimento dos ancestrais das algas azuis, a cerca de 3,8 bilhões de anos, o que resolve o problema do tempo, relacionado ao “combustível” responsável pela geração da energia na estrela.

APÊNDICE B – O Pico de Gamow

De acordo com Capelato (2003), dois fatores impedem que as reações de fusão dos prótons sejam mais rápidas: a barreira coulombiana e a dificuldade de encontrar neutros livres na natureza. A chamada barreira coulombiana, que acontece porque os prótons têm carga de mesmo sinal e, portanto, se repelem. A repulsão elétrica age como uma barreira, que é por isso adjetivada como “coulombiana”. Quando dois prótons estão prestes a colidirem diretamente, a distância mínima que atingem antes de se repelirem devido a barreira coulombiana depende da velocidade que tinham: quanto mais rápidos mais próximo estarão antes de começarem a se afastar devido à repulsão elétrica (CAPELATO, 2003, p. 23).

A menor distância entre os prótons necessária para iniciar a reação de fusão, ocorre quando eles atingem velocidades muito altas, o que é satisfeito uma vez que a temperatura no núcleo do Sol é altíssima conforme nossos cálculos no exercício 7, e temperaturas altas implicam em velocidades altas, mas não são suficientes para possibilitarem a fusão.

Como, então, é possível que os lentos prótons solares ultrapassem a barreira coulombiana?

A repulsão elétrica é vencida graças a um fenômeno denominado efeito túnel, pelo qual existe realmente a possibilidade de que um próton atravesse a barreira coulombiana, não importando qual velocidade tenha. A probabilidade da ocorrência de tunelamento, pode ser calculada a partir das regras da Mecânica Quântica, a única teoria física capaz de descrever corretamente o mundo das partículas atômicas e subatômicas.

Um segundo obstáculo para a ocorrência da fusão de Hidrogênio em Hélio, é o fato de que nêutrons livres são raríssimos na natureza.

Mas, onde podemos obtê-los?

É possível obter esses nêutrons livres, fazendo uso da 4ª força da natureza, que chamamos de interação fraca. Com ela, podemos obter a transformação de um próton num nêutron, o que sempre acontece com a emissão de um pósitron (que é um elétron de carga positiva e é a antipartícula do elétron normal, negativo) e de uma outra partícula chamada neutrino, que tem massa nula e viaja à velocidade da luz. Este processo de transmutação de prótons chama-se decaimento beta (CAPELATO, 2003, p. 24).

Surge, porém um problema, pois o decaimento beta é um processo extremamente lento.

É tão lento que, em média, apenas 1 vez a cada 10 bilhões de anos iremos ver dois prótons se encontrando e reagindo violentamente e liberando energia a medida que um deles se transforma num nêutron e ambos se transformam num núcleo de deutério, o Hidrogênio pesado. Uma vez formado o deutério, todo o resto se passa rapidamente.

O processo da fusão ocorre graças ao efeito túnel. Para ocorrer fusão tem que haver energia grande e quanto maior a energia maior a probabilidade de tunelamento, mas menos provável de encontrarmos a partícula nessas condições.

Podemos verificar que, a maior probabilidade de tunelamento ocorre quando a distribuição de Maxwell-Boltzmann mostra um máximo, sendo este chamado Pico de Gamow, correspondendo a região da energia onde a maioria das reações ocorrem.

O Pico Gamow é considerado pelos astrofísicos um dos mais importantes conceitos no estudo das reações termonucleares em estrelas, sendo largamente usado para a determinação da efetiva região de energia de uma estrela na qual a maioria das partículas carregadas propiciam reações nucleares.

George Gamow em 1928 mostrou que as reações de fusão ocorrentes nos núcleos das estrelas se dão graças ao efeito túnel, fenômeno que permite às partículas em colisão saltar as fortes barreiras de potencial que as separam.

Embora ainda estando abaixo da barreira de Coulomb, a integração do pico de Gamow mostra que a fração dos pares de partículas que passam através de sua barreira de Coulomb é muito mais elevada do que a fração das partículas acima da barreira no caso clássico. Esta fração é extremamente sensível à temperatura. Para uma redução de temperatura da ordem de dois implicará numa redução do rendimento da reação da ordem de um milhão.

A figura 16 mostra a região da energia com maior probabilidade da ocorrência de tunelamento.

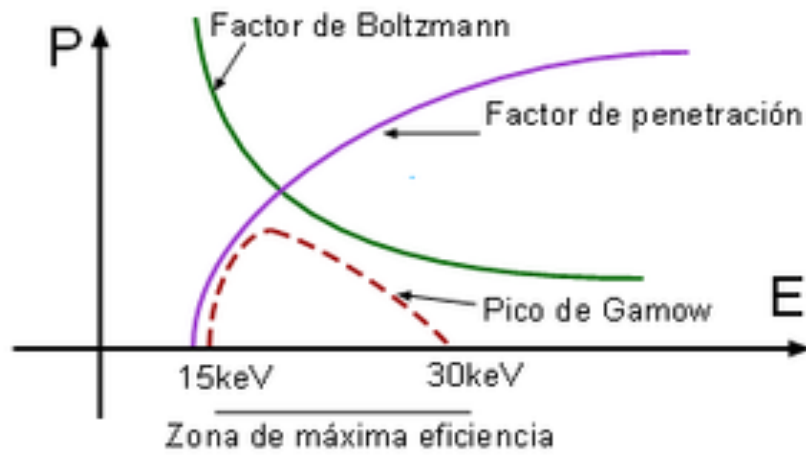


Figura 16 – Gráfico do Pico de Gamow
Fonte: Portal wikipedia
Disponível em: http://es.wikipedia.org/wiki/Pico_de_Gamow

REFERÊNCIAS

ASTRONOMIA: Uma Visão Geral do Universo. Orgs. Amâncio Friaça, Elisabete Dal Pino, Laert Sodré, Jr. E Vera Jatenco-Pereira, EDUSP, 2000.

AUSUBEL, D.P. A aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982.

AVENI, A. (1993). Conversando com os planetas: como a ciência e o mito inventaram o cosmo. Tradução de Cecília Camargo Bartalotti. São Paulo: Mercuryo.

BARDIN, Laurence. Análise de conteúdo. Lisboa: Ed. 70, 2004. 223p.

BAZZO, Walter Antônio; PEREIRA, Luiz Teixeira. Introdução à Engenharia. 6ª edição. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005.

BEYER, H. O. Adaptações didáticas. Salto para o futuro/TV ESCOLA. 2004.

BOCZO, R. Astronomia. In: Maciel, W. J. ed. Astronomia e Astrofísica: texto do curso de extensão universitária do Departamento de Astronomia do Instituto Astronômico e Geofísico, USP. São Paulo, 1991.

BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Lei 9394/96 de 20.12.96. Diário Oficial da União, nº 284 de 23.12.1996 Brasília/DF/BRASIL.1996.

BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais: ciências naturais. Brasília: MEC/SEMTEC, 1997.

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

CANIATO, R. O céu: Projeto Brasileiro de Ensino de Física. S. ed. Campinas: Fundação Tropical de Pesquisa e Tecnologia, 1978. v. 1

CAPELATO, Hugo Vicente. Notas produzidas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.

COUTINHO, Maria Tereza da Cunha; MOREIRA, Mércia. Psicologia da educação: um estudo dos processos psicológicos de desenvolvimento e aprendizagem humanos, voltado para a educação. Belo Horizonte: LÊ1992. 151p.

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. Lições de Física. 1ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2008. 4 vols.

FREITAS, S. M. O Universo: nem aristotélico, nem ptolomaico: apostila do curso dado pela Fundação Planetário da cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: SMC/PCRJ, 1997.

GAMA, L. D.; HENRIQUE, A. B. (2010). Astronomia na Sala de Aula: Por Que? Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia - RELEA, n.9, p. 7-15

GÓES, M. C. R. A Natureza social do desenvolvimento psicológico. Caderno CEDES, Campinas, n.24, p.20-29, 1991.

GUIZZO, J. O Universo, 4. ed. São Paulo: Ática, 1996 (Série Atlas Visuais).

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 4 vols.

JATENCO-PEREIRA, V. e outros. Astronomia: Uma visão geral do Universo. São Paulo: EDUSP, 2000.

MACIEL, W. J. Introdução à estrutura e evolução estelar. São Paulo: Edusp, 1999. v. 1. 288p.

MARTINS, R. de Andrade (1994). O Universo: Teorias Sobre Sua Origem e Evolução. 1ª ed. São Paulo, SP: Moderna, v. 1.

MOREIRA, Marco Antônio; GONÇALVES, Ennio Sallaberry. Laboratório estruturado versus não estruturado: Um estudo comparativo em um curso convencional. RBEF, v10, n2:389-402, jun.1980.

NEVES, Margarida Saraiva, MOREIRA, Marco Concesa Caballero. Repensando O papel do trabalho experimental, na aprendizagem da Física em sala de aula: um estudo exploratório. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v.11, n. 3, dez./2006.p.383-401.

NUSSENZVEIG, Hersh Moysés. Curso de Física Básica. 4ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2002. 4 vols.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; Saraiva, M. F. O. Fundamentos de astronomia e astrofísica, Porto Alegre: Departamento de Astronomia do Instituto de Física – UFRGS, 1999.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; Saraiva, M. F. O. O Sol – a nossa estrela. (on-line) <http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>, 22/06/2001.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS. Pró-Reitoria de Graduação. Sistema de Bibliotecas. Padrão PUC Minas de normalização: normas da ABNT para apresentação de trabalhos científicos, teses, dissertações e monografias. Belo Horizonte, 2006. Disponível na Internet: <http://www.pucminas.br/biblioteca/>.

RIVAL, M. Os grandes experimentos científicos. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1997. TIPLER, Paul Allen. Física para cientistas e engenheiros. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 3 vols.

VIEIRA, F. Identificação do céu. Rio de Janeiro: Fundação Planetário do Rio de Janeiro, SMC/PCRJ, 1996.

VIGOTSKI, Lev S. A construção do pensamento e da linguagem. Tradução de Paulo Bezerra. 1ª edição. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

VIGOTSKI, Lev S. A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. Tradução de José Cipolla Neto, Luís Silveira Menna Barreto e Solange Castro Afeche. 6ª edição. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

VIGOTSKI, Lev S. Pensamento e linguagem. Tradução de Jefferson Luiz Camargo. 2ª edição. São Paulo: Martins Fontes, 1999.