



IV From Micro to Macrococosmos

Nos domínios das ondas gravitacionais

MAIRTON CAVALCANTE ROMÉU
NIZOMAR DE SOUSA GONÇALVES
Organizadores

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ

REITOR

José Jackson Coelho Sampaio

VICE-REITOR

Hidelbrando dos Santos Soares

EDITORA DA UECE

Erasmo Miessa Ruiz

CONSELHO EDITORIAL

Antônio Luciano Pontes	Lucili Grangeiro Cortez
Eduardo Diatahy Bezerra de Menezes	Luiz Cruz Lima
Emanuel Ângelo da Rocha Fragoso	Manfredo Ramos
Francisco Horácio da Silva Frota	Marcelo Gurgel Carlos da Silva
Francisco Josênio Camelo Parente	Marcony Silva Cunha
Gisafran Nazareno Mota Jucá	Maria do Socorro Ferreira Osterne
José Ferreira Nunes	Maria Salete Bessa Jorge
Liduina Farias Almeida da Costa	Silvia Maria Nóbrega-Therrien

CONSELHO CONSULTIVO

Antônio Torres Montenegro UFPE	Maria do Socorro Silva Aragão UFC
Eliane P. Zamith Brito FGV	Maria Lírida Callou de Araújo e Mendonça UNIFOR
Homero Santiago USP	Pierre Salama Universidade de Paris VIII
Ieda Maria Alves USP	Romeu Gomes FIOCRUZ
Manuel Domingos Neto UFF	Túlio Batista Franco UFF

COMITE CIENTÍFICO

Daniel Brito de Freitas (UFC)
Marcia Begalli (UERJ)
Josias Valentim Santana (IFCE)

MAIRTON CAVALCANTE ROMEU
NIZOMAR DE SOUSA GONÇALVES
Organizadores

IV FROM MICRO TO MACROCOSMOS: NOS DOMÍNIOS DAS ONDAS GRAVITACIONAIS

1ª Edição
Fortaleza - CE
2018



IV From micro to macrocosmos: nos domínios das ondas gravitacionais
© 2018 Copyright by Mairton Cavalcante Romeu e Nizomar de Sousa Gonçalves

Impresso no Brasil / Printed in Brazil
Efetuada depósito legal na Biblioteca Nacional

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS

Editora da Universidade Estadual do Ceará – EdUECE
Av. Dr. Silas Munguba, 1700 – Campus do Itaperi – Reitoria – Fortaleza – Ceará
CEP: 60714-903 – Tel: (085) 3101-9893
www.uece.br/eduece – E-mail: eduece@uece.br

Editora filiada à



Coordenação Editorial

Erasmio Miessa Ruiz

Diagramação e Capa

Narcelio Lopes

Revisão de Texto

Os organizadores

Ficha Catalográfica

Lúcia Oliveira CRB - 3/304

F931 IV From micro to macrocosmos: nos domínios das ondas gravitacionais / Organizado por Mairton Cavalcante Romeu, Nizomar de Sousa Gonçalves. - Fortaleza : EdUECE, 2018.
230 p. : il.
ISBN: 978-85-7826-600-4

1. From Micro to Macrocosmos - Evento. 2. Astronomia.
3. Astrofísica. 4. Cosmologia. I. Romeu, Mairton Cavalcante.
II. Gonçalves, Nizomar de Sousa. III. Título.

CDD: 523

NOTA DOS ORGANIZADORES

Este livro consiste de uma coletânea de resumos e artigos do IV From Micro to Macrocosmos (FMTM). Este evento teve início em 2011. Atualmente, ocorre a cada dois anos e promovido pelo Grupo de Estudo e Pesquisa em Astronomia e Cosmologia (GEPAC) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). O FMTM tem como objetivo promover a divulgação científica das áreas Astronomia, Astrofísica, Física de partículas, Cosmologia e áreas afins. O presente livro contempla todas essas áreas, como pode ser visto em suas seções. Os organizadores da obra agradecem a participação de todos os autores e desejam que este trabalho persista de forma duradoura.

ERRATA

Os organizadores do livro *IV From Micro to Macrocosmos: Nos domínios das ondas gravitacionais*, percebendo alguns equívocos relacionados as autorias de determinados trabalhos, apresentam a seguinte errata.

ROMEU, Mairton Cavalcante; GONÇALVES, Nizomar de Sousa. **IV From Micro to Macrocosmos: Nos domínios das ondas gravitacionais**. 1. Ed. Fortaleza: EdUECE. 230p. ISBN: 978-85-7826-600-4.

SESSÃO	TRABALHO	ONDE LÊ-SE	LEIA-SE
SESSÃO 1	RESUMO SIMPLES	Lucas Gomes Chaves e Maria Daniela Leite de Souza.	Ailton Santos da Costa; Mariana Teixeira e Lucas Roberto Nascimento.
	A importância da divulgação da astronomia: Oficina ministrada pelo Clube de Astronomia do IFCE-Sobral. (p.46)		
SESSÃO 2	RESUMO SIMPLES	Vinicius Rodrigues Gomes de Freitas e Dennis Weaver de Medeiros Lima e Sílvio Brito de Oliveira Júnior	Marcos Bezerra Gomes e Rubbens Antonio de Lima Vieira
	Cosmologia Newtoniana (p. 111)		
SESSÃO 3	ARTIGO	Francisco Wesley de Oliveira Mesquita, Brício Warney de Freitas Alves e Luiz Ozorio de Oliveira Filho	Christian Gama Cavalcante; Marcos Haroldo Dantas Norões e Mairton Cavalcante Romeu.
	Teoria da Relatividade Restrita e Experimento de Michelson-Morley: Qual a relação entre a teoria e o experimento? (p. 150).		
SESSÃO 3	RESUMO EXPANDIDO	Antonio Aioneso Souza da Silva, Jonas Guimarães Paulo Neto e Nólria Nabuco Parente	Rogério Fonteneles Castro; Carlos Alberto Santos Almeida; Francisco Herbert Lima Vasconcelos.
	Física: Epistemologia e Ensino (p.183)		

Sumário

SESSÃO 1	12
ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA	
ARTIGOS	

SOBREVIVÊNCIA DE MOLÉCULAS ORGÂNICAS EM DISCOS PROTO-PLANETÁRIOS	14
1. Introdução	15
2. Metodologia.....	16
3. Resultados	18
4. Discussão	19
5. Conclusão	22

A IMPORTÂNCIA DO DIAGRAMA HR NA COMPREENSÃO DA EVOLUÇÃO ESTELAR.....	24
1. Introdução	25
2. Desenvolvimento	26
2.1 Sequência Principal	27
2.1.1 Relação massa e luminosidade	28
2.1.2 Relação luminosidade, raio e temperatura.....	30
2.1.3 Gigantes e Supergigantes	31
2.1.4 Anãs brancas	31
2.1.5 Diagrama HR de Aglomerados Estelares.....	31
2.3 Trajetórias Evolutivas no Diagrama H-R.....	33
3. CONCLUSÕES	34

RESUMOS SIMPLES.....	36
-----------------------------	-----------

Testando a Eficiência do Método de Redes Neurais para Obtenção Automática de Parâmetros Orbitais em Sistemas Binários Eclipsantes	37
Grupo Observacional de Astronomia – IFPI Parnaíba.....	39
Introdução ao estudo da estrutura estelar	41
Sol: uma estrela modelo	42
Espalhamento de partículas não massivas em buracos negros de Kerr-Newman..	43
Sobre a estrutura das anãs brancas	45
A Importância da divulgação da Astronomia: Oficina ministrada pelo Clube de Astronomia do IFCE - Sobral	46

SESSÃO 2 47
COSMOLOGIA, GRAVITAÇÃO, TEORIA DOS CAMPOS, FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA
ARTIGOS

SOBRE AS SOLUÇÕES DO ÁTOMO DE HIDROGÊNIO EM TERMOS DE FUNÇÕES HIPERGEOMÉTRICAS..... 49

- 1. Introdução 50
- 2. Equação de Schrödinger para o Átomo de Hidrogênio 52
 - 2.1 Coordenadas esféricas 53
 - 2.2 Separação de variáveis 53
- 3. Equações Angulares 54
 - 3.1 Solução para 54
 - 3.2 Solução para $\Theta(\theta)$ 56
- 4. Equação Radial 62
- 5. Considerações Finais 70

ISOLANTES TOPOLÓGICOS OU A REVOLUÇÃO PÓS-GRAFENO: OUTRO ENCONTRO FÉRTIL DA TEORIA DE CAMPOS COM A FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA 75

- 1. Introdução 76
 - 1.1 Características básicas dos ITs..... 77
 - 1.2 Análogo da Polarização do Vácuo Quântico nos ITs 80
 - 2.1 Fundamentação Teórica e Problematização 84
 - 2.2 Investigando-se A Polarização do Vácuo nos ITs 88
- 3. Considerações Finais 91

RESUMOS EXTENDIDOS..... 95

ESPECTROSCOPIA DE EMISSÃO ATÔMICA EM METEOROS..... 96

- 1. Introdução 97
- 2. Desenvolvimento do Artigo Científico 99
 - 2.1 Metodologia de aquisição dos espectros de emissão atômica de meteoros.. 100
 - 2.2 Gabaritos espectrais 102
- 3. Conclusões 105

RESUMOS SIMPLES..... 107

Ondas Gravitacionais, o caminho para o Big Bang	108
Cosmologia Newtoniana.....	110
Cosmologia uma História Pré-Científica	111
Cerâmicas piezoelétricas: fonte alternativa de energia elétrica	112
Um estudo sobre a radiação gravitacional emitida por um pulsar binário.....	114
Equação de Difusão-Convecção no Contexto da Teoria de Horava-Lifshitz..	116
Uma experiência de modelagem em escala do Sistema Solar	118
Estudo dos Sólitons da Equação Kdv Obtidos Através do Método do Espalhamento Inverso	120
Buracos Negros e Radiação Hawking.....	121
Solução Polinomial da Equação De Schrödinger com Massa Dependente da Posição para O Potencial de Poschl-Teller.....	122
Luneta de Galileu com materiais de baixo custo	124

SESSÃO 3..... 125

ENSINO DE FÍSICA E ASTRONOMIA

ARTIGOS

O USO DO MATHEMATICA COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA PARA O ENSINO DE GRAVITAÇÃO

1. Introdução	128
2. Metodologia	129
3. Análise e Discussão	130
3.1 O uso do computador no ensino de Física.....	130
3.2. Abordagens sobre o ensino de gravitação	131
3.3 Características do Mathematica	133
3.4. O Mathematica e o ensino de Gravitação	137
4. Conclusões.....	140

TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA E EXPERIMENTO DE MICHELSON-MORLEY: QUAL A RELAÇÃO ENTRE A TEORIA E O EXPERIMENTO?.....

1. Introdução	145
2. Desenvolvimento	146
2.1. Teoria Eletromagnética da Luz.....	146

2.2. Experimento de Michelson-Morley.	147
2.3. A Tentativa de Lorentz em salvar o éter luminífero.	150
2.4. Teoria da Relatividade Restrita e o Empirismo.....	153
3. Conclusão	155

RESUMOS EXPANDIDOS..... 157

O ENSINO DE ASTRONOMIA NO BRASIL	158
1. Por Que Pesquisar o Ensino da Astronomia no Brasil	160
2. Metodologia.....	160
3. Visão Geral do Ensino da Astronomia no Brasil	161
3.1 Educação básica.....	161
3.2 Graduação e pós-graduação	161
3.3 Extensão	162
3.4 Pesquisa.....	162
3.5 Popularização midiática.....	162
3.6 Estabelecimentos.....	162
3.7 Materiais didáticos	163
3.7.1 Livros didáticos	163
4. Considerações Finais	164

MINICURSO PREPARATÓRIO PARA A XIX OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA.....	166
1. Introdução	167
2. Metodologia.....	170
3. Resultados	172
4. Considerações Finais	176

FÍSICA: EPISTEMOLOGIA E ENSINO.....	178
1. Introdução	179
2. Física: Ontologia, Epistemologia, Semântica e Metodologia	179
3. A Física Moderna Se Transformou em Matemática.....	182
4. Epistemologia Bachelardiana	183
5. Metodologia	186
6. Resultados e Discussão	186
7. Considerações Finais	187
8. Referências Bibliográficas	188

O USO DE HISTÓRIAS EM QUADRINHOS PARA O ENSINO DE FÍSICA..190

1. Introdução	191
2. Metodologia	191
3. Histórias em Quadrinhos: uma Ferramenta na Física	194
3.1 Histórias Em Quadrinhos E Educação	195
4. O Lúdico No Aprendizado De Física.....	196
5. Considerações Finais	199
6. Referências	201

RESUMO SIMPLES..... 202

A compreensão dos fenômenos celestes através do uso de artifícios didáticos em aulas de astronomia	203
Aplicação de jogos didáticos para auxiliar no ensino de física.....	205
Difusão: uma proposta experimental para o ensino de ciências	206
Avaliação do Minicurso sobre Exploração Espacial nos séculos XX e XXI ministrado pelo CAIF- Clube de Astronomia do IFCE - Sobral.....	207
OBA! Astronomia na escola: A divulgação da Astronomia nas escolas públicas no município de Ubajara.	209
O ensino de física moderna com ênfase em cosmologia para os alunos do ensino médio.....	210
Viagem pelo Tempo e Espaço: Abordagem histórica e uso de simuladores no ensino de Física.....	212
A utilização do software stellarium como ferramenta de apoio ao ensino da astronomia.....	213
A astronomia para o ensino médio, através da experimentação	215
A construção de uma luneta galileiana como uma forma de ensino e aprendizagem	217
A ampliação no Ensino de Astronomia através da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica-Oba	218
O uso da plataforma phet interactive simulations no ensino de tópicos de física moderna.....	219
A evolução da física e seu impacto na tecnologia e construção social por meio da física moderna.....	221
Acústica e psicoacústica: o som e suas sensações estudados no ensino médio	223
Aplicação da X Mostra Brasileira de Foguetes como Agente Motivador do Ensino da Astronomia e Astronáutica no Ensino Médio	225
Análise do Software “Efeito Fotoelétrico” como Ferramenta para o Ensino de Física.....	227
O ensino da cosmologia no ensino médio.....	229

SESSÃO 1

- ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA -

ARTIGOS

Sobrevivência de moléculas orgânicas em discos protoplanetários

Will Robson M. Rocha e Sergio Pilling

RESUMO

A teoria da entrega exógena de material orgânico na Terra primitiva através de corpos menores do Sistema Solar tem sido usada para justificar, pelo menos em parte, a abundância de material orgânico que pode ter participado da origem da vida na Terra. Contudo, quando e como que esse material orgânico foi formado? Nesse trabalho é apresentado um estudo de modelagem computacional e astroquímica experimental para investigar a formação e sobrevivência de moléculas orgânicas em regiões de formação estelar, como discos protoplanetários. Dados da seção de choque de destruição por UV de moléculas orgânicas como o CH_3OH foram obtidos experimentalmente e usados no código computacional RADMC-3D para calcular o tempo de meia vida dessas moléculas em um cenário espacial. Verifica-se que em estágios iniciais da evolução estelar, como objetos classe I, o CH_3OH é completamente destruído no envelope dessas protoestrelas, enquanto que ele sobrevive por períodos maiores que 105 anos no interior de discos protoplanetários, e futuramente poderiam ser assimilados a planetas e cometas. Esse resultado contribuiria para justificar que o material orgânico entregue por cometas em planetas iniciais foram formados nos primórdios da formação dos sistemas solares.

Palavras-chave: Fotodissociação. Protoestrelas. Astroquímica.

1. INTRODUÇÃO

Regiões de formação estelar possuem grandes reservatórios de moléculas orgânicas, tais como CH_3OH , HCOOH , CH_3CHO entre outras, que têm sido observadas tanto na fase gasosa (BOOGERT ET AL. 2002), como na fase condensada (ÖBERT ET AL. 2011). Novos resultados observacionais feitos com *Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array* (ALMA), reportaram a detecção de acetonitrila (CH_3CN) e cianoacetileno (HC_3N) no disco de uma estrela em formação (protoestrela) chamada de MWC 480 (ÖBERG ET AL. 2015). Outro resultado importante foi a detecção da molécula de metanol (CH_3OH) na fase gasosa no disco da protoestrela TW Hya a uma distância de cerca de 30 vezes a distância Terra-Sol, o que é equivalente ao cinturão de Kuiper localizado no entorno do nosso Sistema Solar.

Um dos caminhos mais eficientes para a formação de moléculas orgânicas no meio interestelar é através do processamento de moléculas condensadas (gelos) na superfície de grãos de poeira por fótons ou partículas. No entanto, a intensidade do campo de radiação pode ser um fator importante para a destruição de tais espécies químicas. Experimentos de laboratório têm calculado a seção de choque de fotodissociação de várias moléculas, dentre as quais está o metanol (PILLING ET AL. 2007, ÖBERG ET AL. 2009, ANDRADE ET AL. 2010). A dissociação do CH_3OH é de grande interesse astrofísico e astroquímico porque os radicais produzidos nesse processo podem participar da síntese de espécies orgânicas mais complexas, tais como CH_3CHO , $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, CH_3OCH_3 , HCOOCH_3 , HOCH_2CHO entre outras (ÖBERG ET AL. 2009).

Nesse trabalho, investigamos através de simulação computacional tridimensional, a sobrevivência da molécula de metanol

no envelope e no disco de uma protoestrela com massa similar ao Sol. O principal objetivo é identificar em quais regiões no entorno de uma estrela jovem, essa molécula permanece intacta na presença de um campo UV, ou é destruída para participar de novas reações químicas.

2. METODOLOGIA

Para calcular a taxa de fotodissociação da molécula de CH_3OH , em um modelo de disco protoplanetário, foi empregado o código de transferência radiativa RADMC-3D (DULLEMOND ET AL. 2012). Este código é baseado no método de Monte Carlo e a interação dos fótons com a poeira (silicato) ocorre obedecendo à teoria de Mie (MIE, 1908).

A distribuição de densidade do disco assume que há equilíbrio hidrostático na direção vertical e é dada pela seguinte equação:

$$\rho_{\text{disco}}(r, \theta) = \frac{\Sigma_0(r/R_0)^{-1}}{\sqrt{2\pi}H(r)} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{r\cos\theta}{H(r)}\right]^2\right\} \quad (1)$$

onde θ é o ângulo do eixo de simetria, Σ_0 é a densidade superficial no raio externo R_0 . $H(r)$ é a escala de altura do disco, definida por $H(r) = r \cdot H_0/R_0 (r/R_0)^{2/7}$, e adotada para discos passivos, i.e, que reemitem a radiação recebida da estrela central como definido em Chiang & Goldreich (1997). Neste trabalho, $H_0/R_0 = 0,17$. Adotamos neste modelo que $R_0 = 200$ UA (Unidades Astronômicas).

Além do disco, foi considerado um envelope esférico em torno do disco, que é uma estrutura típica em estágios iniciais da formação estelar. Seu perfil de densidade é dado por:

$$\rho_{env}(r) = \rho_0 \left(\frac{R_{ext}}{r} \right)^{1.5} \quad (2)$$

onde ρ_0 é o valor da densidade no raio externo do envelope (), adotado como sendo 6000 UA. Este modelo é representativo para protoestrelas de $1 M_{solar}$, cuja massa do disco e do envelope são $0.002 M_{solar}$ e $0.025 M_{solar}$, respectivamente.

No código RADMC-3D as propriedades da protoestrela são de temperatura 4880 K e $R = 5.7 R_{solar}$. Como esse tipo de objeto tem intensa emissão no UV, foi selecionado o intervalo entre 92.1 – 205 nm para calcular a intensidade média de fótons em cada parte do modelo, e consequentemente a taxa de fotodissociação do CH_3OH . Neste modelo, a intensidade média leva em conta, também, a presença de um campo de radiação externo no mesmo intervalo de frequência da fonte central para simular os efeitos produzidos pelo meio interestelar. A taxa de fotodissociação molecular é, portanto, calculada através da seguinte equação:

$$k_{fd} = 4\pi \int_{v_i}^{v_f} N(v)\sigma(v)dv \quad (3)$$

onde a integral é calculada no intervalo de frequência v_i a v_f em Hz. $N(v)$ é o fluxo médio de fótons para cada frequência v da fonte central e do campo externo dada em fótons $cm^{-2} s^{-1} Hz^{-1}$. σ é a seção de choque de fotodissociação da molécula em cm^2 . A seção de choque usada para o CH_3OH foi de $4 \times 10^{-18} cm^2$, como calculada por Öberg et al. (2009).

Usando a taxa de fotodissociação (k_{fd}), é possível calcular o tempo de meia vida da molécula ($t_{1/2}$), que é dado pela seguinte equação:

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k_{fd}} \cdot 3,15 \times 10^7 \text{ [anos]} \quad (4)$$

3. RESULTADOS

Como resultado do cálculo de transferência radiativa feita com o código RADMC-3D, foram obtidos os mapas de sobrevivência do gelo de metanol em um modelo de protoestrela em seu estágio inicial de formação, i.e. com disco e envelope. A Figura 1 mostra o fluxo de radiação UV e tempo de meia vida da molécula de CH_3OH no disco protoestelar. Os contornos indicam a densidade de H_2 , assumindo a relação canônica gás-poeira de 100. Os painéis a1 e a2 mostram que em um cenário em que apenas a fonte central emite radiação, o CH_3OH sobreviveria por um tempo de até 10^5 anos, que é a escala de tempo de objetos desse tipo. Por outro lado, se existe um campo de radiação externo de cerca de 7.5 vezes o campo de radiação do meio interestelar (GREEN ET AL. 2013, RIVIERE-MARICHALAR ET AL. 2016), o tempo de meia vida do CH_3OH diminui para cerca de 10^{-2} anos. Ou seja, isso significa que o gelo de metanol não sobrevive no envelope protoestelar, e, portanto não contribui de forma significativa para a formação de espécies químicas mais complexas. Nos painéis b1 e b2, mostram os mesmos cenários, porém enfatizando o disco protoestelar. É possível ver que numa situação mais realista (b2), o metanol apenas sobrevive no interior do disco protoplanetário, e, portanto, qualquer efeito do seu processamento, seria assimilado a planetas e cometas futuramente.

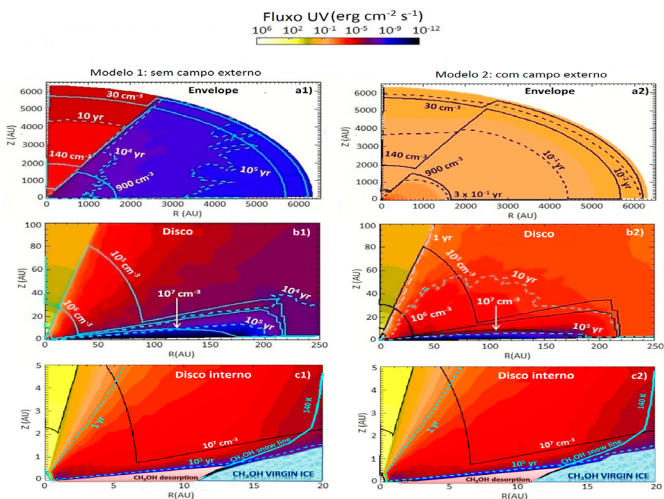


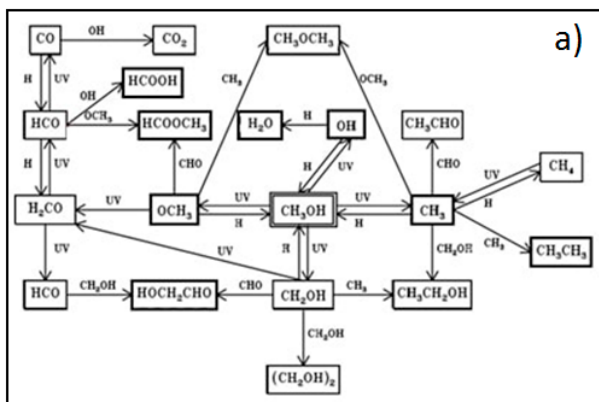
Figura 1: Mapa bidimensional do fluxo UV no ambiente circumstelar de Elias 29 para os Modelos 1 e 2. Os painéis a1 e a2 mostram o envelope, b1 e b2 o disco e c1 e c2 o disco interno. As linhas sólidas indicam a densidade de H_2 e as linhas tracejadas o tempo de meia vida do CH_3OH no gelo de H_2O .

4. DISCUSSÃO

Como já está sendo dito neste trabalho, a molécula de metanol é um importante precursor de espécies orgânicas complexas, e, portanto, sua sobrevivência em regiões de formação estelar deve ser entendida. De acordo com os resultados obtidos com o código RADMC-3D, fica claro que na presença de um campo de radiação UV central e externo, o tempo de sobrevivência do CH_3OH é maior na região do disco protoestelar. Esse é um resultado importante, pois indica que uma grande fração do metanol não é destruída por fótons UV, podendo ser desorvidos para a fase gasosa intactos por processos de desorção induzidos por fó-

tons (ÖBERG ET AL. 2009). Uma evidência observacional que reforça essa hipótese foi a quantidade de metanol na fase gasosa encontrada no disco da protoestrela TW Hya entre 30 – 100 UA (WALSH ET AL. 2016).

Em camadas superiores do disco, onde a densidade é menor, o metanol pode ser mais facilmente dissociado e participar de reações que ocorrem na superfície dos grãos de poeira. Um esquema de reações foi proposto por Öberg et al. (2009), como mostrado na Figura 2a. As reações de superfície levam em conta, para uma espécie ou radical, o tempo de migração, tempo de evaporação, tempo de tunelamento e tempo de salto entre sítios ativos (TIELENS 2005). Os principais canais de dissociação são: $\text{CH}_2\text{OH} + \text{H}$, $\text{OCH}_3 + \text{H}$ e $\text{CH}_3 + \text{OH}$. Dentre as espécies químicas liberadas, o OCH_3 é importante para a formação do HCOOCH_3 , e o CH_2OH atua diretamente na formação do HOCH_2CHO e $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$.



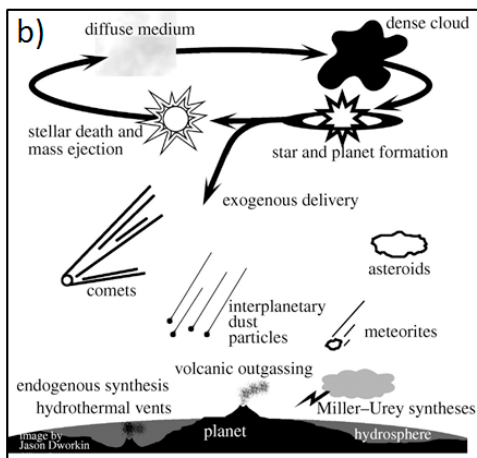


Figura 2: (a) Esquema de reação envolvendo a dissociação do CH_3OH em radicais e átomos para a síntese de moléculas orgânicas complexas (Öberg et al. 2009). (b) Ilustração da entrega exógena e produção endógena de material orgânico na Terra primitiva (Shaw 2006).

A Figura 2b mostra uma ilustração dos meios pelos quais espécies moleculares complexas apareceram na Terra primitiva. Um dos meios foi a produção endógena através de ventos hidrotermais, raios e síntese de Urey-Miller. Porém, nesse trabalho enfatizamos a entrega exógena de material orgânico através de cometas. Contudo, esse material provavelmente foi formado do processamento de gelos como o apresentado no esquema de reações da Figura 2a. Uma vez que essas espécies foram sintetizadas, elas poderiam ter sido assimiladas a cometas que carregaram esse material até ser entregue em potenciais planetas habitáveis.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho investigamos a possibilidade de sobrevivência da molécula de CH_3OH , um importante precursor de moléculas pré-bióticas. Foram adotados modelos computacionais e dados de laboratório para determinar a região de maior fotodissociação do metanol no entorno de uma estrela jovem. Foi possível concluir que as camadas mais internas do disco protoestelar pode proteger o CH_3OH de ser dissociado. Isso significa que esse material poderia sobreviver tempo suficiente para ser assimilado a cometas e planetas futuramente. Por outro lado, a baixa sobrevivência do metanol pode indicar que essas espécies moleculares complexas são deficientes no início da formação de sistemas planetários. Isso seria uma evidência porque moléculas com mais de 6 átomos ainda não foram identificadas em discos e envelopes protoestelares. Novos estudos envolvendo uma componente de raios-X para o campo de radiação será adotado nos modelos para investigar a sobrevivência do CH_3OH e dos seus possíveis filhos HCOOCH_3 , HOCH_2CHO e $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, D. P. P.; ROCCO, M. L. R.; BOECHAT-ROBERTY, H.M. X-ray photodesorption from methanol ice. *MNRAS*, V. 409, p.1289-1296, 2010.
- BOOGERT, A. C. A.; HOGERHEIJDE, M. R.; CECCARELLI, C., et al. The environment and nature of the class I protostar elias 29: molecular gas observations and the location of ices. *ApJ*, V. 570, n. 2, p. 708-723, 2002.
- CHIANG, E. I.; GOLDREICH, P. Spectral Energy Distributions of T Tauri Stars with Passive Circumstellar Disks. *ApJ*, V. 490, p. 368-376, 1997.

DULLEMOND, C. P. *Astrophysics Source Code Library*. 2012.

GREEN, J. D.; EVANS II, N. J.; JØRGENSEN, J. K., et al. Embedded protostars in the dust, ice, and gas in time (digit) herchel key program: continuum SEDs, and an inventory of characteristic far-infrared lines from PACS spectroscopy. **ApJ**, V. 770, p. 123-168, 2013.

MIE, G. Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen. **Annalen der Physik**, V. 330, p. 377-445, 1908.

ÖBERG, K. I.; GARROD, R. T.; VAN DISHOCK, E. F., et al. Formation rates of complex organics in UV irradiated CH₃OH-rich ices. **A&A**, V. 504, p. 891-913, 2009.

ÖBERG, K. I.; BOOGERT, A. C. A.; PONTOPPIDAN, K. M., et al. The spitzer ice legacy: ice evolution from cores to protostars. **ApJ**, V. 740, p. 109-125, 2011.

ÖBERG, K. I.; GUZMÁN, V. V.; FURUYA, K., et al. The comet-like composition of a protoplanetary disk as revealed by complex cyanides. **Nature**, V. 520, p. 198-201, 2015.

PILLING, S.; NEVES, R.; SANTOS, A. C. F., et al. Photodissociation of organic molecules in star-forming regions. III. Methanol. **A&A**, V. 464, p. 393-398, 2007.

RIVIERE-MARICHALAR, P.; MERÍN, B.; KAMP, I., et al. Herchel-PACS observations of far-IR lines in YSOs I: [OI] and H₂O at 63 μ m. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1607.07991>. Acesso em: 01 set. 2016.

SHAW, A. M. **Astrochemistry: From Astronomy to Astrobiology**. 1. ed. London: Ed Wiley, 2006. 352 p.

]: TIELENS, A. G. G. M. *The physics and chemistry of the Interstellar Medium*. New York: Ed. Cambridge, 2005.

]: WALSH, C.; LOOMIS, R. A.; ÖBERG, K. I., et al. First detection of gas-phase methanol in a protoplanetary disk. **ApJL**, V. 823, p. L10-L17, 2016.

A Importância do Diagrama HR na Compreensão da Evolução Estelar.

Ricardo Gomes Castro e Marcony Silva Cunha

RESUMO

As estrelas sempre foram objetos de muita admiração do homem, compreender a sua natureza, origem e evolução sempre foi um grande desejo do homem, ainda mais hoje que sabemos que as estrelas são como sois e que entendê-las nos auxilia a entender a natureza e a evolução de nosso Sol, que é a estrela que torna possível a vida na Terra. No entanto, essa questão revelou-se difícil de compreensão, porque as estrelas aparentavam, em geral, não sofrerem qualquer mudança no tempo de vida humano. No final dos anos 1800, os astrônomos tinham ferramentas que lhes permitiram fazer medições de propriedades estelares com magnitude aparente, de tipo espectral, distância, velocidade radial entre outras. Estas medidas foram compiladas em enormes catálogos, mas não havia nenhuma maneira clara de extrair qualquer informação do ciclo de vida das estrelas. A nossa compreensão da evolução estelar veio de uma maneira muito inteligente de organizar os dados observacionais. No início dos anos 1900, dois astrônomos - Ejnar Hertzsprung na Dinamarca e Henry Norris Russell na América perceberam que construindo um gráfico de magnitude absoluta (ou luminosidade) versus tipo espectral (ou temperatura), as estrelas se concentravam em regiões específicas do gráfico indicando que havia alguma relação física. A este gráfico deu-se o nome de diagrama HR e se mostrou a principal ferramenta no entendimento da evolução estelar. O objetivo deste trabalho é mostrar de que forma surgiu a nossa teoria moderna de estrutura e evolução estelar. Este trabalho inicia apresentando o diagrama HR, os seus descobridores, as suas principais estruturas, a relação que ele indica entre massa e luminosidade e o tempo de vida da estrela, a importância do diagrama

HR no estudar da evolução dos aglomerados de estrelas e as trajetórias evolutivas das estrelas no diagrama HR.

Palavras-chave: Diagrama HR. Evolução Estelar. Sequência Principal.

1. INTRODUÇÃO

Durante séculos, os astrônomos se perguntou sobre os ciclos de vida das estrelas. As estrelas queimam para sempre, ou tinham uma vida? Como elas nascem, e como eles morrem? Como eles mudam à medida que passam por sua evolução?

No entanto, essa questão revelou-se difícil de responder, porque as estrelas aparentavam viver muito tempo. Hoje, sabemos que mesmo com uma vida relativamente curta elas queimam por alguns milhões de anos.

No final dos anos 1800, os astrônomos tinham ferramentas que lhes permitiram fazer medições quantitativas de propriedades estelares: magnitude aparente, de tipo espectral, distância, velocidade radial, etc. Estas medidas foram compiladas em enormes catálogos, mas não havia nenhuma maneira clara de extrair qualquer informação do ciclo de vida das estrelas.

No início dos anos 1900, dois astrônomos - Ejnar Hertzsprung na Dinamarca e Henry Norris Russell na América perceberam que havia uma maneira de interpretar esse problema. Eles usaram medidas de distância para converterem a magnitude aparente de cada estrela em sua magnitude absoluta, a verdadeira medida de sua luminosidade intrínseca. Usando os grandes catálogos, ambos descobriram uma relação simples entre a magnitude absoluta das estrelas e seu tipo espectral ou cor. Esse gráfico propiciou aos astrônomos às ideias-chave que precisavam para transformar seus dados em uma profunda compreensão de como as estrelas evoluem.

2. DESENVOLVIMENTO

O Diagrama de Hertzsprung Russell, conhecido como diagrama HR, foi descoberto independentemente pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967), em 1911, e pelo americano Henry Norris Russell (1877-1957), em 1913, como uma relação existente entre a luminosidade (ou magnitude absoluta) de uma estrela e sua temperatura superficial (ou tipo espectral).

No diagrama HR (Figura 1), os astrônomos adotam a convenção de que a luminosidade cresce para cima, e a temperatura cresce para a esquerda. Os pontos no diagrama HR não se refere a posição das estrelas no espaço, representam apenas os seus valores de luminosidade e temperatura.

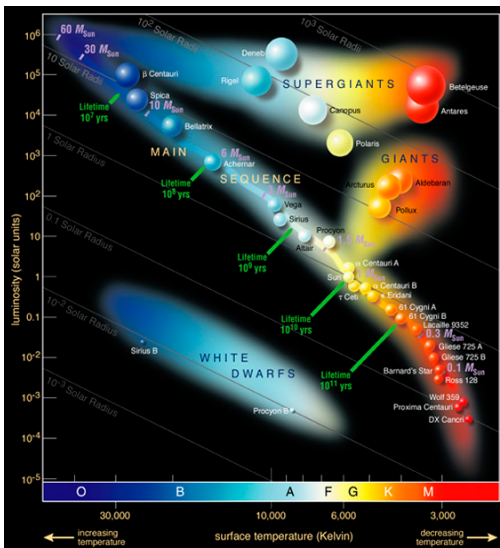


Figura 1: diagrama HR esquemático das estrelas mais próximas da Terra. Fonte: Wilson (2014)

A primeira coisa que se nota no diagrama HR é que as estrelas se concentram em algumas partes. A maior parte das estrelas estão alinhada ao longo de uma faixa na diagonal que vai do extremo superior esquerdo (estrelas quentes e muito luminosas), até o extremo inferior direito (estrelas frias e pouco luminosas), essa faixa é chamada sequência principal. Um número substancial de estrelas também se concentra acima da sequência principal, na região superior direita (estrelas frias e luminosas), essas estrelas são chamadas gigantes. Bem no topo do diagrama existem algumas estrelas ainda mais luminosas: são chamadas supergigantes. Finalmente, algumas estrelas se concentram no canto inferior esquerdo (estrelas quentes e pouco luminosas): são chamadas anãs brancas.

Por não se distribuir aleatoriamente pelo gráfico, estando confinadas em regiões específicas, dá um indicativo de que existia alguma relação física entre a luminosidade e a temperatura das estrelas.

2.1 Sequência Principal

Das 100 bilhões de estrelas da nossa Galáxia, 80% a 90% se encontram ao longo dessa faixa diagonal, incluindo o Sol (DAMINELLI NETO; JABLONSKI, 1999). Dando um indicativo de que a maior parte da vida de uma estrela é passada na sequência principal.

É evidente que a localização de uma estrela (mais no topo ou mais em baixo) na sequência principal é determinada por quão luminosidade ela produz. Mas estudando a distribuição de massas nela, percebeu-se uma relação muito forte entre a massa e a luminosidade da estrela.

2.1.1 Relação massa e luminosidade

Como é mostrado na figura 2, a luminosidade das estrelas varia proporcional em função de sua massa. Revelando uma dependência da massa elevado a 3.5. Colocando em termos relativo ao Sol, optemos por uma formula de estimar o quão luminoso ou o quão massivo é uma estrela em relação ao Sol:

$$L \sim M^{3,5} \quad (1)$$

onde,

L = luminosidade (em unidades de luminosidade do Sol);

M = massa (em unidades de massa do Sol).

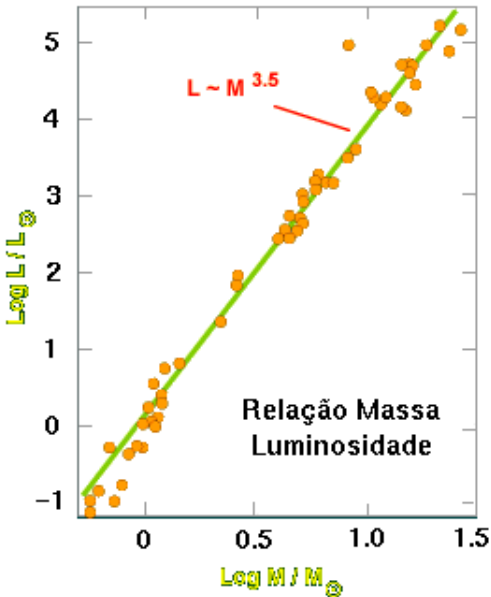


Figura 2: Relação massa luminosidade. Fonte: Souza (2016)

Por exemplo Sírius A é cerca de duas vezes mais massiva do que o Sol lhe conferindo uma luminosidade cerca de 11,31 vezes a do Sol, que é reamente observado. O fato de que a luminosidade ser uma forte função da massa da estrela, tem uma grande implicação para quanto tempo as estrelas vão permanecer na sequência principal. Se a luminosidade de uma estrela é uma medida de quão rapidamente ela está queimando o seu combustível e a massa de uma estrela é a medida da quantidade de combustível que tem nela. O tempo que ela leva para utilizar o combustível é proporcional à sua quantidade de combustível (massa) dividida pela taxa de consumo do combustível (luminosidade). Dando uma estimativa do tempo de vida da estrela na sequência principal:

$$t \sim \frac{M}{L} \quad (2)$$

onde,

t = tempo de vida (em unidades de tempo de vida do Sol);

M = massa (em unidades de massa do Sol);

L = luminosidade (em unidades de luminosidade do Sol).

Como já temos a luminosidade em função da massa na equação (1), substituindo-a na equação (2), obtemos uma estimativa do tempo de vida da estrela na sequência principal em função apenas de sua massa:

$$t \sim \frac{1}{M^{2,5}} \quad (3)$$

Estrelas muito massivas têm um tempo muito curto de vidas na sequência principal em comparação com o Sol, que têm

um tempo de vida da ordem de 11 bilhões de anos (MACIEL, 2016). Por outro lado, estrelas de pequena massa podem viver muito mais do que 11 bilhões de anos. Por exemplo o tempo estimado da vida na sequência principal de uma estrela com massa de um décimo da massa do Sol será de aproximadamente 3,1 trilhões de anos.

Estas estimativas podem ser refinadas muito com a Astrofísica atual, mas indica bem a importância do diagrama HR no nosso entendimento da evolução das estrelas.

2.1.2 Relação luminosidade, raio e temperatura

Luminosidade é a energia total emitida por segundo em todas as direções (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2016). A luminosidade de um objeto depende, de uma maneira muito sensível, da temperatura e também do tamanho da área de superfície (que por sua vez depende do raio) do objeto de modo que:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad (4)$$

onde,

L = luminosidade (em watt);

R = raio (em metros);

T = temperatura (em Kelvin) e

σ = constante de Stephan-Boltzmann cujo valor:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$$

A equação (4) explica como estrelas de mesma temperatura podem ter luminosidade diferentes variando apenas o raio.

2.1.3 Gigantes e Supergigantes

Há também dois grupos de estrelas no diagrama de HR que são mais brilhantes do que a sequência principal mas para os mesmos valores de temperaturas. A relação luminosidade, raio e temperatura diz que essas estrelas devem, portanto, ser maior no raio do as estrelas da sequência principal. Os dois grupos de estrelas são classificados como gigante, com raio variando de 10 a 100 raios solares e supergigantes, com as maiores estrelas conhecidas.

2.1.4 Anãs brancas

Há também algumas estrelas muito quentes, mas pouco luminosas que ocupam o extremo inferior esquerda do diagrama HR. Estas estrelas são muito menos luminosas do que as de sequência principal para mesmos valores de temperatura. A relação luminosidade, raio e temperatura dizem que elas devem ter raio muito menores (em torno de 0,01 raios solares) do que as estrelas da sequência principal.

Apesar do nome, essas estrelas na verdade por cobrirem um intervalo de temperatura grande, podem abranger o espectro de cores dês do branco quentes passando pelo o azul até o vermelhas.

2.1.5 Diagrama HR de Aglomerados Estelares

Uma das grandes dificuldades de se montar um diagrama HR é determinar a distância das estrelas. Essa dificuldade é evitada estudando aglomerados auto gravitantes de estrelas. Pode-se considerar, nestes casos, que todas as estrelas estão à mesma distância em comparação a distância à Terra. Por compartilhando

uma origem comum, o diagrama HR mostra uma importante ferramenta no estudar da evolução dos aglomerados de estrelas.

O estudo dos aglomerados permitiu que se estabelecesse dois tipos de populações estelares. Estrelas de População I que são jovens e ricas em metais e de População II que são velhas e pobres em metais.

Aglomerados jovens de estrelas (de População I) como as Hyades (figura 3), com cerca de 100 milhões de anos, nota-se claramente que praticamente todas as estrelas estão na sequência principal e apenas algumas na região das gigantes. Em aglomerados velhos (de População II) como M3 (figura 4), entre 12 a 15 bilhões de anos, nota-se uma quantidade menor de estrelas na sequência principal em comparação com o ramo das gigantes e sugergigantes.

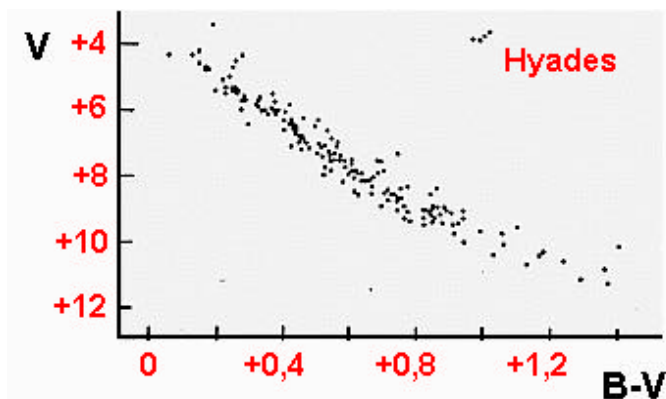


Figura 3: Diagrama HR do aglomerado aberto do Hyades.

Fonte: Hetem e Pereira (2014)

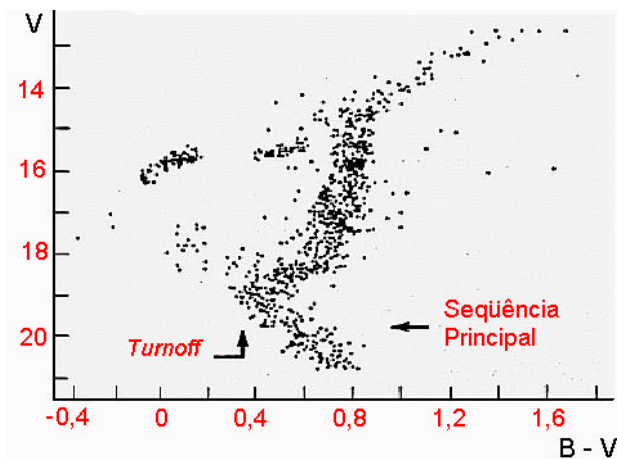


Figura 4: Diagrama HR do aglomerado globular M3.

2.3 Trajetórias Evolutivas no Diagrama H-R

Diferentes categorias de estrela localizam-se em diferentes regiões do diagrama HR, é possível determinar em qual estágio de vida que está a estrela conhecendo a sua luminosidade, temperatura e posicionando-a no diagrama HR. Se estabelece a trajetória evolutiva de uma estrela conectando todos os pontos no diagrama HR que representam todos os estágios de vida da estrela.

As regiões de formação de estrelas em galáxias, consideradas berçários de estrelas, são nuvens de gás e poeira. Devido a flutuações de densidade em pontos dessas nuvens a densidade pode se tornar alta o suficiente para que a gravidade forme acúmulos de matéria que por sua vez se juntarão formando os objetos conhe-

cidos como protoestrelas que por gravidade vão acumular ainda mais matéria e aquecer. A partir daí a trajetória evolutiva da protoestrela vai depender de quanta matéria ela acumulou.

Se a massa for menor que 0,08 massas solares o núcleo não atingirá a temperatura suficiente (8 milhões de Kelvins) para iniciar as reações termonucleares e ela se tornará uma anã marrom.

Entre 0,08 e 0,45 massas solares começam sua evolução como anãs vermelhas, passando um longa na sequência principal transformam hidrogênio em hélio, mas nunca atinge temperatura alta o suficiente no núcleo para fundir o hélio, se tornar anãs brancas com núcleo de hélio.

Entre 0,45 e 8 massas solares. Após consumir o seu hidrogênio do núcleo, passará da sequência principal para o ramo das gigantes e depois para supergigante, depois ejetando suas camadas mais externas termina sua evolução como uma anã branca.

Entre 8 a 25 massas solares. Depois de passar a fase de supergigante e formar o núcleo de ferro, a pressão que balanceia a força da gravidade acaba, as camadas externas colapsam sobre o núcleo comprimindo-o até os limites das leis física que então são empurrados para fora provocando explosão chamada de supernova. Os elementos mais pesados que o ferro são formados neste tipo de explosão. Restando uma estrela de nêutrons, ou se a massa inicial for maior que 25 massas solares, formando um buraco negro.

3. CONCLUSÕES

Dessa for concluo que o diagrama HR foi de fundamental importância na formulação da nossa teoria moderna da estrutura e evolução estelar que se tornou o principal pilar da Astrofísica moderna.

REFERÊNCIAS

DAMINELI NETO, Augusto; JABLONSKI, Francisco José. **NASCIMENTO, VIDA E MORTE DAS ESTRELAS (II)**: PARTE II - A EVOLUÇÃO ESTELAR E O DIAGRAMA H-R (A VIDA DAS ESTRELAS). 1999. Disponível em: <<http://www.cdcc.usp.br/cda/aprendendo-superior/evolucao-estelar/estrela02.html>>. Acesso em: 11 out. 2016.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Fotometria: Fluxo**. 2016. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/rad/rad/rad.htm>>. Acesso em: 11 out. 2016.

MACIEL, Walter J.. **O FUTURO DO SOL**. Disponível em: <<http://www.astro.iag.usp.br/~maciel/teaching/artigos/futuro/futuro.html>>. Acesso em: 11 out. 2016.

SOUZA, Ronaldo E. de. **Razão Massa Luminosidade**. Disponível em: <<http://www.astro.iag.usp.br/~ronaldo/intrcosm/Glossario/RazMassLum.html>>. Acesso em: 12 out. 2016.

WILSON, David. **Planets Across the HR Diagram Part 1**. 2014. Disponível em: <<http://stuffaboutspace.blogspot.com.br/2014/08/planets-across-hr-diagram-part-1.html>>. Acesso em: 12 out. 2016..

HETEM, Gregorio; PEREIRA, Jatenco. **ESTRELAS: CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL**. 2014. Disponível em: <<http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/apostila/cap10.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2016.

RESUMOS SIMPLES

TESTANDO A EFICIÊNCIA DO MÉTODO DE REDES NEURAIS PARA OBTENÇÃO AUTOMÁTICA DE PARÂMETROS ORBITAIS EM SISTEMAS BINÁRIOS ECLIPSANTES

Luciano Junior, J. N. H./ Silva, J. R. P.

RESUMO

Estima-se que aproximadamente dois terços das estrelas da nossa galáxia estejam em sistemas binários (SB), o que faz das estrelas binárias um tema estatisticamente relevante para a Astrofísica. Medidas espectroscópicas combinadas com medidas fotométricas, ou curvas de luz (CL) em sistemas binários eclipsantes (SBE), constituem a única forma de se obter medidas precisas da massa e do raio das estrelas, e tais parâmetros são fundamentais para testes de modelos de estrutura e evolução estelar. Nos últimos cinco anos, o número de medidas de CL de SBE aumentou significativamente graças ao lançamento dos telescópios espaciais CoRoT(ESA) e Kepler (NASA), que disponibilizaram uma grande quantidade de dados observacionais para esses sistemas. O telescópio espacial Plato, previsto para entrar em atividade no ano de 2024, irá ampliar ainda mais essa base de dados. A necessidade do tratamento do grande volume de dados disponibilizados tornou imprescindível o uso de ferramentas computacionais robustas para tratamento automático desses dados. Nesse contexto, o presente trabalho faz parte de um projeto para desenvolver, implementar e utilizar ferramentas computacionais para obtenção automática de parâmetros orbitais de CL de SBE a serem medidas pelo Plato. Na fase atual do projeto, estamos avaliando a eficiência do método de redes neurais na obtenção automática de elementos

orbitais de SBE a partir de dados obtidos de CL. Para isso, calculamos os elementos orbitais de uma amostra com 100, de um total de 1412 SBED, provenientes do Catálogo de Binária Eclipsante do Kepler, tratados com o método de redes neurais. Os parâmetros orbitais dos sistemas da amostra foram calculados utilizando o método tradicional de ajustes de curva de luz com incertezas estimadas pelo método de bootstrapping. Os valores calculados foram comparados com os obtidos pelo método de redes neurais. Os resultados preliminares mostram concordância entre alguns parâmetros, para outros, a necessidade de correções no método de redes neurais se faz necessária.

Palavras-chave: Astrofísica. Binários Eclipsantes. Missão Kepler.

GRUPO OBSERVACIONAL DE ASTRONOMIA – IFPI Parnaíba

**Tayla Johana dos Santos Costa, Edmilson Ferreira Lima Junior e
Eliênio da Silva Duarte**

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo divulgar o trabalho que vem sendo desenvolvido pelo Grupo Observacional de Astronomia – IFPI Parnaíba, com o intuito de tornar mais visível as contribuições e a importância do projeto para os alunos do curso de Licenciatura em Física e para a cidade de Parnaíba. Desde 2009 na sua fundação o grupo tem desenvolvidos pesquisas de cunho observacional, compilação bibliográfica e projetos educacionais, atividades para divulgação científica dentro do Campus Parnaíba como também capacitações de outros Campus, Cocal, Piripiri e Picos; com as escolas públicas e privadas da cidade e atividades aberta ao público como Telescópio na Praça. Durante todo esse tempo foram publicados trabalhos em eventos como Encontro de Produtividade em Pesquisa e Encontro de Iniciação Científica – ENCI-PRO, Semana de Matemática e Física – SEMAFIS, Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Pesquisa Científica - SBPC, minicursos sobre telescópio e astrometria. Em 2013 o grupo recebeu no IFPI as escolas públicas de Parnaíba que eram parte do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência – PIBID para fazer o segundo momento da Amostra de Astronomia, foram desenvolvidas atividades experimentais como As Fases da Lua numa Caixa, Relógio Estelar, Astrolábio Numa Caixa de CD, O Achatamento Planetário, Lançamento de Foguetes e Observação com Telescópio. Nos anos de 2014 e 2015 recebemos a vi-

sita de escolas públicas e particulares como também foi feita uma visita a algumas delas, desenvolvendo principalmente as atividades de Lançamentos de Foguetes e Observação com Telescópio. Assim o Grupo Observacional de Astronomia tem sido um incentivo a permanência dos alunos do curso, atrativo para os alunos do ensino médio seguirem a fazer o curso de física, como também encaminha os participantes do grupo a desenvolverem pesquisas para contribuição e divulgação científica no curso e conseqüentemente fazer pós-graduação nas áreas de Astronomia, Astrofísica e Cosmologia.

Palavras-chave: Astronomia. Atividades. Incentivo.

Introdução ao estudo da estrutura estelar

Emanuele de Farias Dias e Raphael Victor Barros Campos

RESUMO

Este presente trabalho foi elaborado tendo como referência os livros “**An Introduction To The Study Of Stellar Structure**”, do autor **Chandrasekhar, S.**, e “**Astrophysics Today**”, do autor **Cameron, A.G.W.**, dentre outros. Iremos constatar que a estrutura de uma estrela depende de múltiplas variáveis. Este estudo foi feito baseado em suposições introdutórias e aproximações, para se conseguir uma teoria detalhada e com uma visão geral, discriminando entre os aspectos relevantes e menos relevantes da situação física. Investigar quão longe conseguiremos chegar a partir de uma suposição, antes de ter a necessidade de introduzir outra, fazendo assim a introdução de uma suposição por vez. Neste trabalho, nos preocuparemos principalmente com uma tentativa de descobrir o quão longe podemos prosseguir com a suposição de que uma estrela está em um estado constante de equilíbrio gravitacional. Para complementar, vamos ainda por a suposição de que a distribuição de densidade é de tal modo, que a densidade média ($\bar{\rho}$), em dado ponto “P” localizado no interior da estrela, não aumenta para o exterior a partir do centro. Veremos também que essas duas suposições já nos permitem determinar a ordem de grandeza de algumas das variáveis físicas mais importantes que descrevem uma estrela. O método consiste em encontrar as desigualdades de quantidades como a pressão central, pressão média, a energia potencial, o valor médio de gravidade, entre outras. Antes de estabelecer as desigualdades, no entanto, obteremos algumas equações de equilíbrio dentre elas, a equação do equilíbrio gravitacional, a potência e a energia potencial. Além destas, obteremos também as equações da Conservação da Massa e da Estrutura Térmica Estelar.

Palavras-chave: Astrofísica. Estrutura. Estelar

Sol: uma estrela modelo

Maria José Silva Cardoso, Bruna Pamela dos Reis Souza e
Raynara de Carvalho Fonseca

RESUMO

O Sol é a estrela mais próxima da Terra e proporciona a energia que faz a vida possível. Com aproximadamente 4,6 anos, é formado principalmente por hidrogênio e hélio. Está no centro do sistema planetário em torno do qual giram a Terra e os demais planetas. Este artigo cujo objetivo é fazer um levantamento das informações relacionadas à origem, à estrutura, à importância e o futuro da nossa Estrela. De acordo com o estudo, o Sol exerce uma função primordial em relação ao nosso planeta e dos demais que compõem o sistema solar. Ele coordena perfeitamente a quantidade de energia suficiente a nossa sobrevivência, além de ter papel importante na vida dos outros planetas que forma o Sistema Solar. Como toda estrela, o Sol também irá morrer. Devido à falta de combustível para seu processo de fusão. Após sua morte, irá se transformar em uma estrela gigante vermelha. Com dimensões enormes, e futuramente numa linda nebulosa em expansão. Mas nenhum humano estará lá para admirar isso. Já que nosso planeta, em decorrência da morte do Sol, deixará de oferecer condições propícia a vida. A nebulosa irá gradativamente se dissipar e o que sobrar no centro será uma pequena porção do Sol, pequeno objeto quente chamado de estrela anã branca. Felizmente, nós teremos cerca de 5 bilhões de anos antes de isso começar a acontecer.

Palavras-chave: Sol. Estrela. Terra.

Espalhamento de partículas não massivas em buracos negros de Kerr-Newman

Laylson Alves Vieira e Maria Daniela Leite de Souza

RESUMO

Diante da necessidade de uma teoria de gravitação em acordo com o princípio da causalidade, Einstein propôs em 1915 a Teoria da Relatividade Geral, onde a interação gravitacional é vista como uma curvatura do espaço-tempo. A ela, estão incorporadas as Equações de campo de Einstein que, apesar de não lineares, possuem diversas soluções. Dentre as previsões da teoria, cabe destacar o desvio da luz em fortes campos gravitacionais, a existência de ondas gravitacionais e os buracos negros, sendo estes últimos os objetos de estudo do presente trabalho. Essencialmente, um buraco negro consiste de uma região casualmente desconexa do espaço externo. Como objetos Astrofísicos, eles podem ser o estado final do colapso estelar de objetos supermassivos, e segundo observações, existem em abundância. Os casos mais simples conhecidos consistem de buracos negros sem carga e sem rotação, caracterizados apenas por suas respectivas massas e advindos da solução de Schwarzschild. Entretanto, eles podem conter carga e/ou rotação, exigindo-se a necessidade de uma solução mais geral. Neste trabalho, iniciamos fazendo uma breve revisão da solução de Schwarzschild e em seguida estudamos a família de soluções de Kerr-Neuman, descritas em termos da massa, carga elétrica e rotação, a fim de entender aspectos fenomenológicos de buracos negros por meio dos processos de espalhamento de partículas, tendo em vista que tais processos fornecem informações sobre fenômenos como a radiação Hawking ou a conversão de ondas eletromagnéticas em gravita-

cionais (e vice-versa), por exemplo. Por meio de aproximações analíticas foi possível encontrar a seção de choque diferencial de espalhamento para vários ângulos, traçando um perfil das geodésicas de partículas não massivas, descritas por potenciais escalares, e por fim, discutindo suas principais implicações.

Palavras-chave: Buracos Negros. Espalhamento de Partículas. Soluções de Kerr-Neuman.

Sobre a estrutura das anãs brancas

Lucas Gomes Chaves e Maria Daniela Leite de Souza

RESUMO

O meio interestelar é essencialmente composto por nuvens de gases de Hidrogênio, Hélio e alguns outros elementos mais pesados, como Carbono, Nitrogênio e outros. O nascimento de uma estrela está associado à instabilidades gravitacionais na distribuição desses gases, tal que se a nuvem for densa o suficiente, a força de gravidade supera a pressão (na direção oposta), tal que a nuvem colapsa (o sistema é lentamente condensado, até a protoestrela ser formada). Um dos maiores desafios da Astrofísica estelar é explicar a lentidão desse processo de formação. Na literatura, existem autores que acreditam que a convecção primordial de uma pequena fração do gás em material estelar em queda livre, ou ainda a turbulência supersônica, podem ser responsáveis pela lentidão. Nós acreditamos que determinar uma equação de estado – relação entre a pressão, densidade de energia e temperatura – no interior de estrelas compactas (estrelas de nêutrons e anãs brancas), descreve uma teoria menos incompleta sobre tal processo, tendo em vista a sua utilidade para a compreensão das propriedades da matéria em altas densidades. Nessa perspectiva, temos como principal objetivo encontrar a equação de estado para uma anã branca. Assim, dadas as equações no equilíbrio, utilizamos o modelo de Fermi relativístico para gases de elétrons livres e com aproximações politrópicas, encontramos a equação de estado da nuvem. Com esta equação, foi possível determinar diretamente as distribuições de densidade e pressão no interior da nuvem, e posteriormente, com um tratamento fluido-dinâmico do sistema, introduzimos tais distribuições na equação da continuidade para discutir suas principais implicações.

Palavras-chave: Equação de estado. Estrela. Nuvem de gás

A Importância da divulgação da Astronomia: Oficina ministrada pelo Clube de Astronomia do IFCE - Sobral

Mariana Teixeira de Castro, Ailton Santos da Costa, Lucas Roberto Nascimento e André Chaves de Brito

RESUMO

A divulgação de conhecimentos de Astronomia cresceu muito nas últimas décadas, a maior parte por meio de filmes, livros e séries de ficção científica. Mas infelizmente nas escolas esse tema é visto muito superficialmente, geralmente na disciplina de geografia. Desta forma, a escola perde muitas oportunidades de despertar o interesse dos alunos por Matemática e Ciências da Natureza, já que a Astronomia é um campo de multidisciplinaridades. A Astronomia é um dos eixos de atuação do Programa de Educação Tutorial (PET) no Instituto de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) no campus de Sobral, nele se tenta fazer uma popularização dessa ciência, através de observações do Céu e por meio de palestras. Este é mais um dos trabalhos realizados neste projeto e tem como objetivo levar a experimentação através da construção de materiais que auxiliem tanto na compreensão quanto na aferição de eventos e atividades astronômicas. Atividade essa que pode vir a contribuir para o enriquecimento de futuros professores em suas aulas de ciências no dia-a-dia da sala de aula. O trabalho foi realizado no campus sobral durante a jornada acadêmica de física onde foi ministrado uma oficina chamada “Astronomia: da Teoria à prática”, durante esse evento foram realizadas uma série de explicações sobre assuntos gerais de alguns eventos e de áreas específicas de astronomia como eclipses, fases da lua, constelações e sobre cosmologia em geral. Logo após foram confeccionados entre os grupos, formado por pessoas que mostraram interesse em participar desse evento, vários experimentos de baixo custo, mas que servem para explicar e entender fenômenos que muitas vezes parecem complicados. Vamos apresentar neste trabalho um pouco dos experimentos assim os resultados obtidos nesta oficina.

Palavras-chave: Astronomia. Experimentos. Divulgação

SESSÃO 2

**COSMOLOGIA, GRAVITAÇÃO,
TEORIA DOS CAMPOS, FÍSICA
MODERNA E CONTEMPORÂNEA**

ARTIGOS

Sobre as Soluções do Átomo de Hidrogênio em Termos de Funções Hipergeométricas

Marcony Silva Cunha

RESUMO

Neste trabalho, apresentam-se as soluções da equação de Schrödinger para o átomo de hidrogênio em termos da função hipergeométrica de Gauss e de sua forma confluyente. Utiliza-se o tradicional método de separação de variáveis para encontrar as equações radial e angular. Diferentemente da maioria dos livros didáticos, que optam pelo método geral de Frobenius e pelas relações de recorrência oriundas desse método ou, ainda, pelo elegante método algébrico de operadores escada, aqui se adota o método analítico de substituição de variáveis, tanto para a variável dependente quanto para a independente, a fim de se chegar a uma solução geral em uma forma fechada em termos de funções hipergeométricas. Para a solução angular polar, transforma-se a equação em uma equação hipergeométrica com três pontos singulares, cuja solução geral é a função hipergeométrica de Gauss com três parâmetros. As condições físicas sobre a solução impõem restrições sobre os parâmetros da solução, o que, por sua vez, impõe valores para os números quânticos relacionados ao momento angular, os chamados números quânticos secundário (ℓ) e magnético ($m\ell$). Quanto à parte radial da equação de Schrödinger, esta pode ser transformada em uma solução fechada na forma de uma equação hipergeométrica confluyente, de dois parâmetros. Impondo novamente condições as físicas do problema, observa-se que os parâmetros da solução confluyente levam ao número quântico principal (n) e, adicionalmente, sua relação com o número quântico secundário (ℓ). Ao final, apresenta-se a solução geral para a função de onda, que descreve o átomo de hidrogênio e que é a composição das soluções angulares e radiais e as relações entre os números quânticos e alguns gráficos dos primeiros estados angulares e radial.

Palavras-chave: Equação de Schrödinger. Átomo de hidrogênio. Função hipergeométrica.

1 INTRODUÇÃO

O hidrogênio (em forma gasosa) foi descrito pela primeira vez ainda no início do século XVI por Paracelso. No final do século XIX e início do século XX, já se conheciam praticamente todas as principais propriedades do hidrogênio, incluindo as linhas emissão no visível por Balmer e, logo em seguida, as linhas de emissão fora do espectro visível por Lyman (ultra-violeta) e as emissões no infravermelho por Paschen, Brackett, Pfund, Humphreys e outras emissões mais raras a partir da sexta camada atômica (número quântico $n = 6$) com comprimentos de onda mais longos.

As raias espectrais de emissão são explicadas pelo modelo semiclassical de Bohr, muito embora não consiga explicar vários outros aspectos das linhas de emissão, como a estrutura fina, por exemplo. O modelo, contudo, foi logo superado com o aparecimento da teoria de Schrödinger nos anos 1920.

A solução completa do átomo de hidrogênio foi desenvolvida ao longo dos anos e hoje se encontra em todos os livros didáticos, básicos, sobre mecânica quântica. Geralmente, o método analítico usado consiste em utilizar a série de Frobenius para se encontrar as relações de recorrência e, por conseguinte, as regras de quantização da energia.

Neste trabalho, contudo, apresentam-se as soluções da equação de Schrödinger para o átomo de hidrogênio em termos da função hipergeométrica de Gauss e de sua forma confluyente. Adota-se o método analítico de substituição de variáveis, tanto para a variável dependente quanto para a independente, a fim de se chegar à solução geral (em uma forma fechada) em termos de funções hipergeométricas.

Salienta-se, entretanto, que o método de Frobenius é geral e, em princípio, pode ser usado para procurar soluções polinomiais de qualquer equação diferencial, inclusive com singularidades, como é o caso do problema do átomo de hidrogênio. Do ponto de vista acadêmico, é interessante que o aluno utilize este método, que aprenda a forma geral de trabalhar com relações de recorrência e expansões em séries. Por outro lado, a vantagem de colocar em forma de uma equação hipergeométrica (fechada) é que se entra em contato com um método ligeiramente diferente de resolver o problema.

Para a solução angular polar, por exemplo, transforma-se a equação em uma equação hipergeométrica cuja solução geral é a função hipergeométrica de Gauss. As condições físicas sobre a solução impõem restrições sobre os parâmetros da solução, o que, por sua vez, impõe valores para os números quânticos relacionados ao momento angular, os chamados números quânticos secundário (ℓ) e magnético (m_ℓ).

Quanto à parte radial da equação de Schrödinger, esta pode ser transformada em uma solução fechada na forma de uma equação hipergeométrica confluyente, onde se observa que os parâmetros da solução confluyente levam ao número quântico principal (n) e, adicionalmente, sua relação com o número quântico secundário (ℓ).

Ao final, apresenta-se a solução geral para a função de onda, que descreve o átomo de hidrogênio e que é a composição das soluções angulares e radiais e as relações entre os números quânticos e alguns gráficos dos primeiros estados angulares e radial.

2 EQUAÇÃO DE SCHRÖDINGER PARA O ÁTOMO DE HIDROGÊNIO

A equação de Schrödinger para o átomo de hidrogênio é escrita como

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi(r,\theta,\phi,t) = i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\Psi(r,\theta,\phi,t), \quad (1)$$

sendo i a unidade imaginária. O potencial $V(r)$ é o potencial coulombiano, \hbar é a constante de Planck dividida por 2π e m é a massa do elétron¹. Aqui, podemos inicialmente separar a parte temporal da equação simplesmente admitindo a separação da função $\Psi(r,\theta,\phi,t)=\psi(r,\theta,\phi)T(t)$. A solução é simples e a parte temporal tem como solução $T(t) = \exp(-iEt/\hbar)$. Neste caso, passamos de imediato à equação de Schrödinger que descreve os estados estacionários do átomo, a saber,

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi(r,\theta,\phi) + V(r)\psi(r,\theta,\phi) = E\psi(r,\theta,\phi). \quad (2)$$

O método usual de resolver essa equação é supor, por razões de simetria, que a função de onda pode ser separada como o produto de três funções que dependem das respectivas coordenadas, ou seja, $\psi(r,\theta,\phi)=R(r)\Theta(\theta)\Phi(\phi)$. Por questões didáticas, admitese, inicialmente, que as funções angulares estão juntas no que se convencionou chamar de harmônicos esféricos $Y(\theta,\phi)=\Theta(\theta)\Phi(\phi)$, que são funções bem conhecidas do eletromagnetismo (REITZ *et al.*, 1988; GRIFFITHS, 1999; ARFKEN; WEBER, 2005).

¹ A constante de Planck tem valor $h = 6,626 \times 10^{-34}$ J·s e a massa do elétron é $m = 9,109 \times 10^{-31}$ kg.

2.1 Coordenadas esféricas

Por causa do potencial central, que depende somente do módulo do vetor posição, ou seja, da distância ao centro do átomo, resolver esse problema em coordenadas esféricas é o mais indicado. Dessa forma, em coordenadas esféricas, escreve-se o operador gradiente como (ARFKEN, 1985)

$$\vec{\nabla} = \hat{r} \frac{\partial}{\partial r} + \hat{\theta} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} + \hat{\phi} \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \phi}. \quad (3)$$

Escreve-se o operador laplaciano ($\nabla^2 = \nabla \cdot \nabla$), que aparece na equação de Schrödinger, em coordenadas esféricas como

$$\nabla^2 = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \quad (4)$$

2.2 Separação de variáveis

O próximo passo é substituir o operador laplaciano acima na equação de Schrödinger, Eq. (2), e utilizar a separação de variáveis $\psi(r, \theta, \phi) = R(r)Y(\theta, \phi)$. Fica-se com

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \left[\frac{Y}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial R}{\partial r} \right) + \frac{R}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial Y}{\partial \theta} \right) + \frac{R}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 Y}{\partial \phi^2} \right] + V(r)RY = ERY. \quad (5)$$

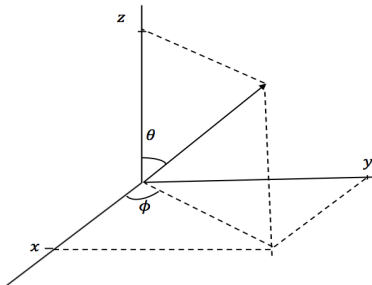


Fig. 1 Vetor posição localizado no espaço, em coordenadas esféricas.

Reagrupa-se a equação acima, Eq. (6), de tal forma que fique evidente o método de separação de variáveis. Assim, multiplica-se a equação acima pelo fator $(2m/\hbar^2)r^2/R Y$, tal que se obtém

$$\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial R}{\partial r} \right) + \frac{2m}{\hbar^2} r^2 (E - V(r)) = - \frac{1}{Y \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial Y}{\partial \theta} \right) - \frac{1}{Y \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 Y}{\partial \phi^2}. \quad (6)$$

Note-se que o lado esquerdo da equação acima tem uma dependência na coordenada r , enquanto o lado direito, uma dependência em θ e ϕ . Essa constatação revela uma inconsistência nessa equação, uma vez que variações na coordenada radial não devem interferir nas coordenadas angulares e vice-versa. Assim, deve-se impor que ambos os lados da equação sejam iguais a uma mesma constante, que aqui se denominará λ . Desta forma, a equação acima é escrita como duas equações independentes, uma que dependente só de r e outra que dependente de θ e ϕ . A seguir, desenvolve-se a solução da parte angular.

3 EQUAÇÕES ANGULARES

A solução angular, devido à simetria esférica, é representada pelo harmônico esférico como dito acima. Este, por sua vez, pode ser separado por uma parte só em função da coordenada angular $\Theta(\theta)$ e em outra parte só em função da coordenada azimutal $\Phi(\phi)$.

3.1 Solução para

A equação angular pode ser escrita explicitando-se o harmônico esférico em termos das funções angulares, ou seja, $Y(\theta, \phi) = \Theta(\theta)\Phi(\phi)$. Dessa forma, tem-se

$$\Phi \text{sen} \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\text{sen} \theta \frac{\partial \Theta}{\partial \theta} \right) + \Theta \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \phi^2} = -\lambda \Theta \Phi \text{sen}^2 \theta \quad (7)$$

Multiplicando-se a equação acima por $1/\Phi\Theta$ e reagrupando-se os termos dependentes de θ e ϕ , tem-se

$$\frac{1}{\Theta} \text{sen} \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\text{sen} \theta \frac{\partial \Theta}{\partial \theta} \right) + \lambda \text{sen}^2 \theta = -\frac{1}{\Phi} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \phi^2} \quad (8)$$

Novamente, as funções à direita e à esquerda da igualdade são independentes e a maneira usual de resolver é as igualando a uma constante de separação. Das duas equações que se formam, a mais simples e direta de resolver é a equação para ϕ . Denominando-se a constante de separação de $m\ell^2$, fica-se com

$$-\frac{1}{\Phi} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \phi^2} = m\ell^2, \quad (9)$$

cuja solução é

$$\Phi(\phi) = e^{im\ell\phi} \quad (10)$$

A constante $m\ell$ deve ser determinada pelas condições físicas impostas pela simetria esférica sobre a função. Desta forma, espera-se para quaisquer r e θ que a função deve satisfazer a condição $\Phi(\phi+2\pi) = \Phi(\phi)$. Assim,

$$e^{im\ell\phi} e^{im\ell 2\pi} = e^{im\ell\phi} \quad (11)$$

ou ainda, $e^{im\ell 2\pi} = 1$. Essa condição impõe que a função seja a mesma em determinado ponto independente do número de voltas completas que se dê a partir de ϕ . Portanto, a constante $m\ell$ deve ser tal que

$$m_\ell = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (12)$$

O número m_ℓ é conhecido como número quântico magnético e sua relação com os outros números quânticos ficará claro ao longo do texto.

3.2 Solução para $\Theta(\theta)$

Para completar o harmônico esférico, passa-se agora para o cálculo da função polar. A partir da Eq. (8) e da condição imposta pela separação de variáveis, Eq. (9), pode-se escrever a equação para $\Theta(\theta)$ como

$$\text{sen}\theta \frac{\partial}{\partial\theta} \left(\text{sen}\theta \frac{\partial\Theta}{\partial\theta} \right) + (\lambda \text{sen}^2\theta - m_\ell^2)\Theta = 0 \quad (13)$$

Note-se que a equação é invariante para $\theta \rightarrow -\theta$. Este fato autoriza que as soluções para $\Theta(\theta)$ sejam simétricas ou antissimétricas, *i.e.*, $\Theta(-\theta) = \Theta(\theta)$ para as soluções simétricas e $\Theta(-\theta) = -\Theta(\theta)$ para soluções antissimétricas.

Neste ponto, ao invés de se seguir pelo método geral de Frobenius, segue-se com o método analítico propondo-se uma transformação simétrica em relação à variável independente θ , a saber, $z = \cos^2\theta$. Podem-se encontrar as derivadas em relação ao ângulo θ através da regra da cadeia. Neste caso, tem-se

$$\frac{\partial}{\partial\theta} = \frac{\partial z}{\partial\theta} \frac{\partial}{\partial z} = -2\text{sen}\theta\cos\theta \frac{\partial}{\partial z} \quad (14)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial\theta^2} = 4z(1-z) \frac{\partial^2}{\partial z^2} - 2(1-2z) \frac{\partial}{\partial z} \quad (15)$$

Note-se que, na equação acima, usou-se $\cos^2\theta = z$ e $\text{sen}^2\theta = 1-z$. Substituindo as equações acima na Eq. (13), chaga-se a

$$z(1-z)\theta''(z) + (1/2 - 3/2z)\theta'(z) + \left(\lambda - \frac{(m_\ell/2)^2}{1-z}\right)\theta(z) = 0, \quad (16)$$

sendo que $\theta'(z)$ e $\theta''(z)$ representam as derivadas primeira e segunda com relação a z , respectivamente. Observando a equação acima, pode-se perceber que ela tem divergências em $z = (0, 1, \infty)$, ou seja, esses são pontos singulares (regulares) da equação. Como resultado, pode-se propor um mapeamento que preserve esses pontos singulares por transformações ou mapeamentos da variável dependente. Uma transformação geral seria do tipo $\Theta(z) = z^a(1-z)^b F(z)$, com a e b constantes. Entretanto, para facilitar o entendimento, mas sem perder a generalidade, propõe-se uma transformação mais direta, a saber,

$$\Theta(z) = (1-z)^{\frac{|m_\ell|}{2}} F(z) \quad (17)$$

Para incluir essa transformação na Eq. (16), precisa-se das derivadas primeira e segunda de $\Theta(z)$. Por questões didáticas, para facilitar a leitura do texto, escrevem-se abaixo

$$\theta'(z) = (1-z)^{\frac{|m_\ell|}{2}} \left[F'(z) - \frac{|m_\ell|}{2}(1-z)^{-1}F(z) \right] \quad (18)$$

$$\theta''(z) = (1-z)^{\frac{|m_\ell|}{2}} \left[F''(z) - |m_\ell|(1-z)^{-1}F'(z) + \frac{|m_\ell|}{2} \left(\frac{|m_\ell|}{2} - 1 \right) F(z) \right]. \quad (19)$$

Após alguma álgebra que, apesar de ser relativamente extensa, é direta, chega-se a uma equação relativamente compacta para $F(z)$, a saber,

$$z(1-z)F''(z) + \left[\frac{1}{2} - \left(1 + |m_\ell| + \frac{1}{2} \right) z \right] F'(z) - \left[\frac{|m_\ell|(|m_\ell|+1)}{4} - \frac{\lambda}{4} \right] F(z) = 0 \quad (20)$$

Esta equação pode ser comparada diretamente à equação hipergeométrica de Gauss, com três pontos singulares em $z = (0, 1, \infty)$, cujo raio de convergência é $|z| < 1$,

$$z(1-z)F''(z) + [c - (1+a+b)z]F'(z) - abF(z) = 0. \quad (21)$$

As soluções em torno de $z = 0$ são

$$F^{(1)}(z) = {}_2F_1(a, b, c; z) = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(a)_j (b)_j}{(c)_j} \frac{z^j}{j!} = 1 + \frac{ab}{c} \frac{z}{1!} + \frac{a(a+1)b(b+1)}{c(c+1)} \frac{z^2}{2!} + \dots \quad (22)$$

$$F^{(2)}(z) = z^{1-c} {}_2F_1(a-c+1, b-c+1, 2-c; z) = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(a-c+1)_j (b-c+1)_j}{(2-c)_j} \frac{z^{j+1-c}}{j!} \quad (23)$$

Os termos $(a)_j$ são conhecidos como símbolos de Pochhammer e estão definidos como

$$(a)_j = a(a+1)(a+2)\dots(a+j-1), \quad (24)$$

sendo $(a)_0 \equiv 1$ (SEABORN, 1991). Note-se que, nos termos da expansão das funções hipergeométricas, $c \neq 0, -1, -2, \dots$ e $2-c \neq 0, -1, -2, \dots$ na primeira e segunda soluções, respectivamente. Sempre que $a=-n$, ou $b=-n$, com $n = 0, 1, 2, \dots$, a série é *truncada* (parada), tornando-se então um polinômio de grau .

Como dito acima, pode-se comparar diretamente a Eq. (20) e a Eq. (21). Tem-se então,

$$\begin{aligned} c &= \frac{1}{2} \\ a + b &= |m_\ell| + \frac{1}{2} \\ ab &= \frac{|m_\ell|(|m_\ell|+1)}{4} - \frac{\lambda}{4} \end{aligned} \quad (25)$$

A solução do sistema de equações é bem simples, sendo dada por

$$\begin{aligned} a &= \frac{|m_\ell|}{2} + \frac{1}{4} - \frac{1}{2} \sqrt{\lambda + \frac{1}{4}} \\ b &= \frac{|m_\ell|}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \sqrt{\lambda + \frac{1}{4}} \end{aligned} \quad (26)$$

Finalmente, escreve-se a solução geral desse problema como uma combinação linear das funções hipergeométricas, por sua vez definidas em termos dos parâmetros acima. Assim,

$$\Theta(z) = c_1(1-z)^{\frac{|m|}{2}} {}_2F_1(a, b, c; z) + c_2(1-z)^{\frac{|m|}{2}} z^{1-c} {}_2F_1(a-c+1, b-c+1, 2-c; z) \quad (27)$$

Vale ressaltar aqui que as soluções para a parte angular do átomo de hidrogênio não são os polinômios de Legendre, pelo menos não imediatamente. A solução matemática mais geral para o problema são as funções hipergeométricas de Gauss acima. Entretanto, a solução matemática da maneira como se apresenta não representa de fato o átomo de hidrogênio porque as soluções fisicamente aceitas devem ser bem comportadas. Como dito acima, as funções hipergeométricas convergem apenas para $|z| < 1$. Entretanto, podemos diminuir o grau de divergência (exponencial) para uma divergência polinomial se a primeira ou a segunda entrada da função for um número inteiro não positivo.

Assim, uma vez que $b > 0$ sempre, a condição $a = -p$ é a única possível, onde $p = 0, 1, \dots$. Neste caso, tem-se

$$\frac{|m_\ell|}{2} + \frac{1}{4} - \frac{1}{2} \sqrt{\lambda + \frac{1}{4}} = -p \quad (28)$$

Para $p=0$, e como $m_\ell = 0, \pm 1, \dots$, podemos averiguar os valores de λ para diferentes m_ℓ . Por exemplo, se $m_\ell = 0$, tem-se $\frac{1}{4} - \frac{1}{2} \sqrt{\lambda + \frac{1}{4}} = 0$, ou $\lambda = 0$. Se $m_\ell = \pm 1$, $\frac{3}{2} = \sqrt{\lambda + \frac{1}{4}}$ ou seja, $\lambda = 2$. Se $m_\ell = \pm 2$, $\frac{5}{2} = \sqrt{\lambda + \frac{1}{4}}$, ou $\lambda = 6$. Podemos continuar testando valores e perceber, e mostrar por indução, que $\lambda = 0, 2, 6, 12, 18, \dots$, ou $\lambda = \ell(\ell+1)$, com $\ell = 0, 1, 2, \dots$, como esperado. Assim, tem-se que, se $m_\ell = \pm 0$, $\ell = 0$; se $m_\ell = \pm 1$, $\ell = 1$; se $m_\ell = \pm 2$, $\ell = 2$.

Da mesma forma, se $p=1$, $\frac{|m_\ell|}{2} + \frac{5}{2} = \sqrt{\lambda + \frac{1}{4}}$. Neste caso, temos que, se $m_\ell = 0$, $\lambda = 6$; se $m_\ell = \pm 1$, $\lambda = 12$; se $m_\ell = \pm 2$, $\lambda = 20$. Portanto, $\lambda = 6, 12, 20, 30, \dots$, ou $\lambda = \ell(\ell+1)$ novamente, sendo que

desta vez $\ell=2,3,4,\dots$ Abaixo, apresenta-se um conjunto de tabelas com valores de $m\ell$, λ e ℓ para $p = 0, 1$ e 2 .

Para a segunda solução linearmente independente, a primeira entrada da hipergeométrica também deve ser igual a um número inteiro não positivo, ou seja, para se reduzir a hipergeométrica a um polinômio de grau p , é necessário se ter $a-c+1 = -p$. Por conseguinte, tem-se que $\frac{|m\ell|}{2} + \frac{3}{4} - \frac{1}{2}\sqrt{\lambda + \frac{1}{4}} = -p$. Para $p=0$, se $m\ell = 0$, então $\lambda=2$; se $m\ell = \pm 1$, então $\lambda=6$, e assim por diante. Assim, $\lambda=2,6,12,\dots$ ou $\lambda=\ell(\ell+1)$, com $\ell=1,2,3,\dots$

Tabela 1 - Relação entre os números quânticos de momentum angular para a primeira solução LI

m_ℓ	$\lambda = \ell(\ell + 1)$	ℓ
0	0	0
± 1	2	1
± 2	6	2
± 3	12	3
\vdots	\vdots	\vdots

$p = 0$

m_ℓ	$\lambda = \ell(\ell + 1)$	ℓ
0	6	2
± 1	12	3
± 2	20	4
± 3	30	5
\vdots	\vdots	\vdots

$p = 1$

m_ℓ	$\lambda = \ell(\ell + 1)$	ℓ
0	20	4
± 1	30	5
± 2	42	6
± 3	56	7
\vdots	\vdots	\vdots

$p = 2$

Novamente, para $p=1$, se $m\ell=0$, então $\lambda=12$; se $m\ell=\pm 1$, então $\lambda=20$, e assim por diante, ou seja, $\lambda=12,20,30,\dots$, ou $\lambda=l(l+1)$, com $l=3,4,5,\dots$ Abaixo, Tabela (2), apresenta-se um segundo conjunto de tabelas para $p=0,1$ e 2 , para os correspondentes valores de $m\ell$, λ e l .

Tabela 2 - Relação entre os números quânticos de momentum angular para a segunda solução LI

m_ℓ	$\lambda = \ell(\ell + 1)$	ℓ
0	2	1
± 1	6	2
± 2	12	3
± 3	20	4
\vdots	\vdots	\vdots

$p = 0$

m_ℓ	$\lambda = \ell(\ell + 1)$	ℓ
0	12	3
± 1	20	4
± 2	30	5
± 3	42	6
\vdots	\vdots	\vdots

$p = 1$

m_ℓ	$\lambda = \ell(\ell + 1)$	ℓ
0	30	5
± 1	42	6
± 2	56	7
± 3	72	8
\vdots	\vdots	\vdots

$p = 2$

Por fim, observando-se os dois conjuntos de tabelas, Tabela (1) e Tabela (2), a conclusão a que se chega é que quando $\ell=0$, o único valor que m_ℓ pode assumir é $m_\ell=0$; quando $\ell=1$, pode-se ter $m_\ell=0, \pm 1$; quando $\ell=2$, $m_\ell=0, \pm 1, \pm 2$. Portanto, resgata-se aqui a conhecida relação entre o número quântico secundário ou azimutal e o número quântico magnético, a saber,

$$m_\ell = -\ell, -\ell + 1, \dots, \ell \quad (29)$$

Para se escrever explicitamente as soluções $\Theta(\theta)$, deve-se substituir a transformação de coordenadas $z=\cos^2 \theta$, na expressão para $\Theta(z)$. Antes, porém, pode-se as reescrever as expressões para a e b, Eq. (27), de uma maneira mais prática em termos de ℓ , isto é, substituindo-se $\lambda=\ell(\ell+1)$, tem-se,

$$\begin{aligned} a &= \frac{|m_\ell|-\ell}{2} \\ b &= \frac{|m_\ell|+\ell+1}{2} \end{aligned} \quad (30)$$

Para as soluções Θ , pode-se agora escrever,

$$\Theta_\ell^{m_\ell}(\theta)^{(1)} = c_1 (\text{sen}\theta)^{|m_\ell|} {}_2F_1\left(-p, \frac{|m_\ell|+\ell+1}{2}, \frac{1}{2}; \cos^2 \theta\right) \quad (31)$$

$$\Theta_\ell^{m_\ell}(\theta)^{(2)} = c_2 (\text{sen}\theta)^{|m_\ell|} \cos \theta {}_2F_1\left(-p, \frac{|m_\ell|+\ell+2}{2}, \frac{3}{2}; \cos^2 \theta\right) \quad (32)$$

Pode-se agora, a partir das equações acima e das condições sobre ℓ, m_ℓ , encontrar os polinômios em θ . Lembrando que as funções hipergeométricas são descritas pela Eq. (22) e Eq. (23) em forma de séries de potências, para a primeira solução, para $p=0$, se $\ell=0$, $m_\ell=0$. Então, a menos de constantes, $\Theta_0^0(\theta)=1$. Já a segunda solução, para $p=0$, o número quântico azimutal começa de $\ell=1$, com $m_\ell=0$. Neste caso, tem-se $\Theta_1^0(\theta)=\cos\theta$. Para $\ell=2$, com $m_\ell=0$, tem-se $p=1$ na primeira solução, o que fornece, de acordo com a Eq. (22), $\Theta_2^0(\theta) = 1 + \frac{ab}{c} \cos^2 \theta = 1 - 3 \cos^2 \theta$. Abai-

xo, na Tabela (3) os harmônicos esféricos para diversos valores de $m\ell$ e ℓ de acordo com a expansão em série das soluções hipergeométricas. A normalização para os harmônicos esféricos pode ser encontrada em Griffiths (2005) e em vários livros textos sobre mecânica quântica ou eletromagnetismo.

Tabela 3 – Harmônicos esféricos para alguns valores de $m\ell$ e ℓ .

Sol	$Y_\ell^{m_\ell}(\theta, \phi)$	$\Theta(\theta)\Phi(\phi)$	$Y_\ell^{m_\ell}(\theta, \phi)$	$\Theta(\theta)\Phi(\phi)$
1ª	$Y_0^0(\theta, \phi)$	1	$Y_1^{\pm 1}(\theta, \phi)$	$\text{sen}\theta e^{\pm i\phi}$
2ª	$Y_1^0(\theta, \phi)$	$\cos\theta$	$Y_2^{\pm 1}(\theta, \phi)$	$\text{sen}\theta \cos\theta e^{\pm i\phi}$
1ª	$Y_2^0(\theta, \phi)$	$1 - 3\cos^2\theta$	$Y_3^{\pm 1}(\theta, \phi)$	$-\frac{1}{5}(\text{sen}\theta - 5\text{sen}\theta \cos^2\theta) e^{\pm i\phi}$
2ª	$Y_3^0(\theta, \phi)$	$-\frac{1}{3}(5\cos^3\theta - 3\cos^2\theta)$	$Y_4^{\pm 1}(\theta, \phi)$	$\frac{1}{3}(7\text{sen}\theta \cos^3\theta - 3\text{sen}\theta \cos\theta) e^{\pm i\phi}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

4 EQUAÇÃO RADIAL

A partir da Eq. (6), escreve-se a equação radial levando-se em conta a constante de separação $\lambda = \ell(\ell + 1)$ e o potencial coulombiano,

$$V(r) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}, \quad (33)$$

onde ϵ_0 é a constante de permissividade elétrica do vácuo², e é a carga do elétron e r é a distância radial ao núcleo do átomo. Portanto, reagrupando-se os termos da equação, tem-se

$$\frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dR}{dr} \right) + \frac{2m}{\hbar^2} r^2 \left(E + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \right) R(r) = \ell(\ell + 1)R(r) \quad (34)$$

A equação acima pode ser escrita numa forma mais compacta fazendo-se uma mudança na função radial R , ou seja, $u(r) = r R(r)$. Tem-se então,

$$-\frac{\hbar^2}{2m} u''(r) + \left[-\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} + \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\ell(\ell + 1)}{r^2} \right] u(r) = E u(r) \quad (35)$$

² A constante de permissividade elétrica do vácuo vale $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$

Figura 2 - Da esquerda para a direita e de cima para baixo, gráficos da densidade de probabilidade $|Y(\theta, \phi)|^2$ em coordenadas polares para $m\ell = 0$ e $\ell = 0, 1, 2$ e 3.

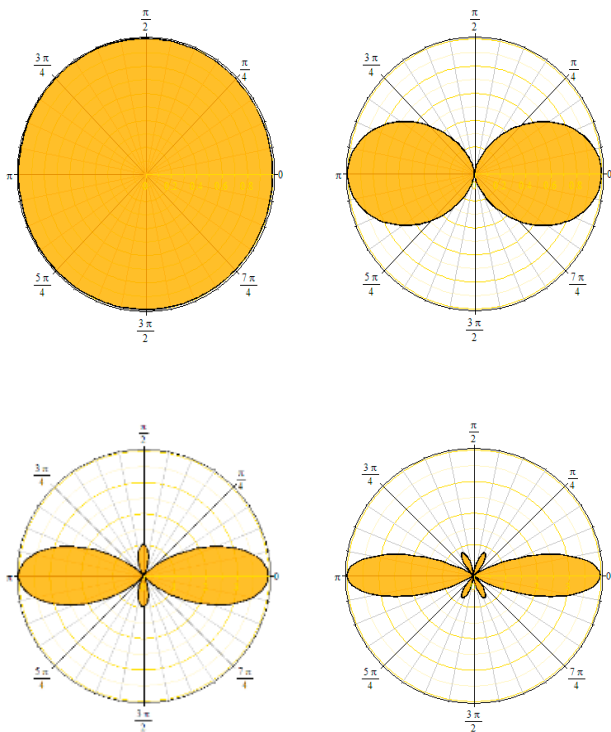
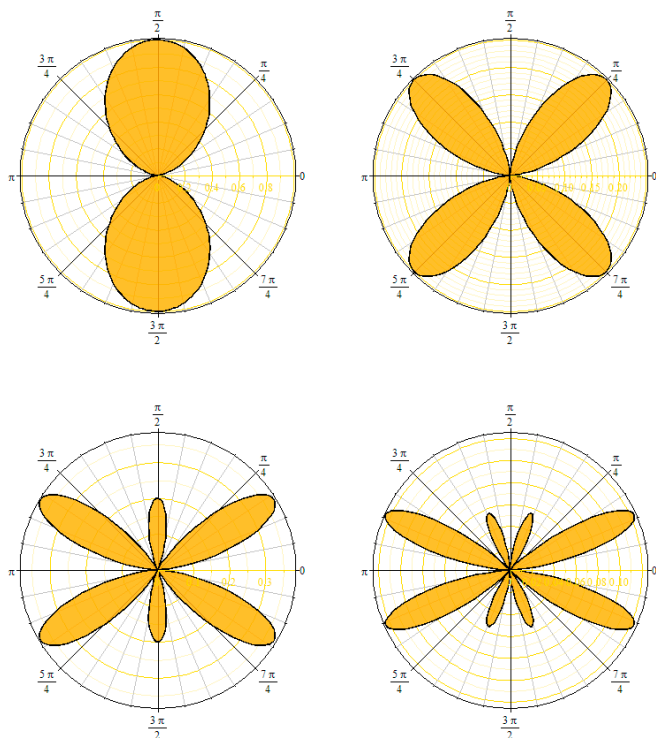


Figura 3 – Da esquerda para a direita e de cima para baixo, gráficos da densidade de probabilidade $|Y(\theta, \phi)|^2$ em coordenadas polares para $m\ell=1$ e $\ell=1, 2, 3$ e 4.



A equação acima pode ser escrita numa forma mais compacta fazendo-se uma mudança na função radial R , ou seja, $u(r)=r R(r)$. Tem-se então,

$$-\frac{\hbar^2}{2m} u''(r) + \left[-\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} + \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\ell(\ell+1)}{r^2} \right] u(r) = Eu(r) \quad (36)$$

A forma da equação acima lembra a equação de Schrödinger unidimensional, sendo que o termo entre colchetes funcionaria como um potencial efetivo, formado pelo potencial coulombiano usual atrativo e por um termo repulsivo centrífugo.

Para resolver a equação acima, redefine-se as constantes que aparecem na equação, como dadas abaixo,

$$\kappa^2 \equiv -\frac{2mE}{\hbar^2}; \quad a_B \equiv \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{me^2} \quad (37)$$

A constante a_B é conhecida como o raio de Bohr³. Fica-se então com

$$u''(\rho) + \left[\frac{\rho_0}{\rho} - \frac{\ell(\ell+1)}{\rho^2} - \frac{1}{4} \right] u(\rho) = 0, \quad (38)$$

onde $\rho_0 \equiv 1/\kappa a$ e $\rho = 2\kappa r$ é uma reparametrização da coordenada r .

Analisando-se o comportamento assintótico da função $u(\rho)$ na origem, pode-se ver que a Eq. (37) acima tem a seguinte aproximação,

$$u''(\rho) \approx \frac{\ell(\ell+1)}{\rho^2} u(\rho), \quad (39)$$

cujas soluções são

$$u(\rho) \approx A\rho^{\ell+1} + B\rho^{-\ell} \quad (40)$$

O comportamento assintótico no infinito é tal que, assintoticamente, tem-se

³ O raio de Bohr vale $a_B = 0,529 \text{ \AA}$ e é o valor esperado da posição do elétron no estado fundamental.

$$u''(\rho) \approx \frac{1}{4} u(\rho). \quad (41)$$

A solução geral é

$$u(\rho) \approx C e^{-\frac{\rho}{2}} + D e^{\frac{\rho}{2}} \quad (42)$$

Novamente, a segunda solução diverge, neste caso quando $\rho \rightarrow \infty$.

Pode-se propor um *ansatz* para $u(r)$ aproveitando ambos os comportamentos assintóticos (GRIFFITHS, 2005), ou seja, $u(r) = \rho^{\ell+1} e^{-\frac{\rho}{2}} F(\rho)$. Substituindo $u(r)$ na equação acima, fica-se com

$$\rho F''(\rho) + [2(\ell + 1) - \rho]F'(\rho) - (\ell + 1 - \rho_0)F(\rho) = 0 \quad (43)$$

A equação acima é uma forma particular da equação hipergeométrica confluyente

$$zF''(z) - (c - z)F'(z) - aF(z) = 0, \quad (44)$$

a qual tem pontos singulares em $z = (0, \infty)$, sendo que ponto no infinito é singular irregular. O raio de convergência da equação confluyente, assim como a de Gauss, é $|z| < 1$. As soluções em torno da origem são

$$F(z)^{(1)} = {}_1F_1(a, c; z) = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(a)_j z^j}{(c)_j j!} \quad (45)$$

$$F(z)^{(2)} = z^{1-c} {}_1F_1(a - c + 1, 2 - c; z) = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(a - c + 1)_j z^j}{(2 - c)_j j!} \quad (46)$$

As condições de existência das soluções exigem que, na primeira, $c \neq 0, -1, -2, \dots$ e, $2 - c \neq 0, -1, -2, \dots$ na segunda solução. Também, para transformar as soluções em polinômios de grau

finito, é necessário que, no primeiro caso, $a=0, -1, -2, \dots$ e $-c+1=0, -1, -2, \dots$, no segundo. Entretanto, do ponto de vista físico, a segunda solução não é aceitável uma vez que diverge na origem. Portanto, a solução fisicamente aceitável para $u(r)$, a menos de constantes, é

$$u(r) = \rho^{\ell+1} e^{-\frac{\rho}{2}} {}_1F_1(\ell + 1 - \rho_0, 2(\ell + 1); \rho) \quad (47)$$

Como a divergência da função hipergeométrica confluyente é exponencial, deve-se eliminar ou pelo menos diminuir a divergência exigindo que a função se torne um polinômio de grau finito. Para isto, é necessário que $\ell+1-\rho_0=-p$, onde $p=0,1,2, \dots$. Como ℓ e p são números inteiros, assim ρ_0 também deve ser um número inteiro. A ordem do polinômio é dada pelo parâmetro $p=j_{\max}$ na expansão em série da solução. Quando $p=0$, $\rho_0=\ell+1$. Como $\ell=0,1, \dots$, então $\rho_0=1,2, \dots$. Agora, se $p=1$, $\rho_0=\ell+2$ ou $\rho_0=2,3,4, \dots$ e assim por diante. Por conveniência, adota-se $\rho_0 \equiv n$, com $n=0,1,2, \dots$ e a relação entre os parâmetros é dada na Tabela (4) abaixo. Este resultado é importante e revela a quantização da energia em termos de n . Sendo $\rho_0=n=1/\kappa a$ e $\kappa^2=-2mE/\hbar$, elevando-se ao quadrado a primeira expressão e substituindo-se na segunda, obtém-se

$$E_n = -\frac{\hbar^2}{2ma^2} \frac{1}{n^2}. \quad (48)$$

Tabela 4 – Relação entre os números quânticos principal (n) e secundário (ℓ)

$n = \ell + 1$	ℓ
1	0
2	1
3	2
4	3
\vdots	\vdots

$p = 0$

$n = \ell + 2$	ℓ
2	0
3	1
4	2
5	3
\vdots	\vdots

$p = 1$

$n = \ell + 3$	ℓ
3	0
4	1
5	2
6	3
\vdots	\vdots

$p = 2$

Portanto, de acordo com a Tabela 4) acima, pode-se observar uma relação mais interessante entre n e ℓ . Quando $n=1$, $\ell=0$. Quando $n=2$, tem-se duas possibilidades para ℓ , i.e., $\ell=0$ (quando $p=0$) e $\ell=1$ (quando $p=1$). Portanto, analisando outros valores de n e ℓ , observa-se que, dado n ,

$$\ell = 0, \dots, n - 1 \quad (49)$$

Assim, a Eq. (29) e a Eq. (48) revelam-se as conhecidas relações entre os números quânticos principal, secundário e magnético.

A partir da solução $u(r)$ e das condições sobre os parâmetros discutidas acima, pode-se agora escrever a solução para a parte radial em termos da função hipergeométrica confluyente, a saber,

$$R_{n\ell}(r) = A_{n\ell} \left(\frac{2}{na}\right)^{\ell+1} r^\ell e^{-r/na} {}_1F_1\left(\ell + 1 - n, 2(\ell + 1); \frac{2r}{na}\right), \quad (50)$$

onde os $A_{n\ell}$, juntamente com o termo $(2/na)^{\ell+1}$, são constantes de normalização da função radial. Como exemplo, considere o estado fundamental

$$R_{10}(r) = A_{10} \frac{2}{a} e^{-r/a} {}_1F_1(0, 2, 2r/a) \quad (51)$$

Como a primeira entrada da hipergeométrica é zero, então ${}_1F_1(0, 2, 2r/a) = 1$. Para se calcular A_{10} basta normalizar, como usual, a função radial. Assim, por meio da expressão de normalização, chega-se a $A_{10} = 1/\sqrt{a}$. Tem-se que a função radial normalizada fica então

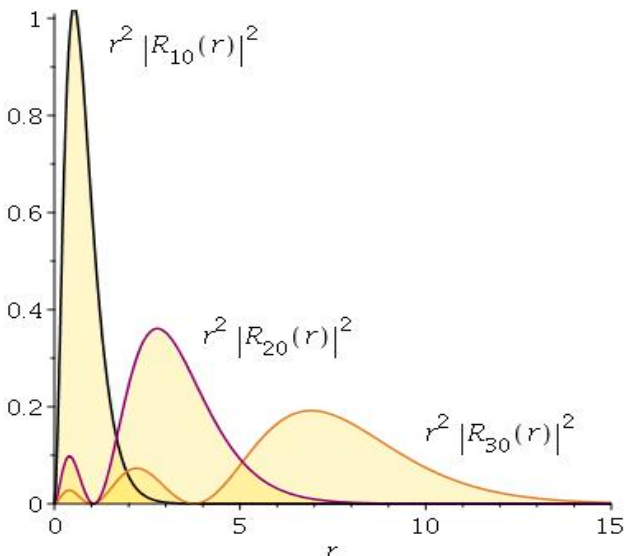
$$R_{10}(r) = \frac{2}{\sqrt{a^3}} e^{-r/a} \quad (52)$$

Pode-se mostrar (ver apêndice) que as constantes que normalizam a função radial com $\ell=0$ são dadas pela expressão

$$A_{n0} = \frac{1}{\sqrt{na}} \quad (53)$$

Portanto, as funções radiais $R_{n\ell}(r)$ normalizadas são

Figura 4 – Gráficos da probabilidade radial para os estados esféricos R_{10} , R_{20} e R_{30} da maior para menor amplitude, respectivamente, sendo r dado em angstroms.



$$R_{n0}(r) = 2 (na)^{-3/2} e^{-\frac{r}{na}} {}_1F_1\left(1-n, 2; \frac{2r}{na}\right) \quad (54)$$

Para outros valores de n e ℓ , ver apêndice⁴. Na Tabela 5), abaixo, apresentam-se algumas funções radiais normalizadas.

⁴ Para uma fórmula geral, em termos dos polinômios de Laguerre, ver Griffiths, 2ª Ed, Eq. (4.89).

Tabela 5 - Função radial normalizada para $n=1,2$ e 3 com $\ell=0$ e $\ell=1$.

n	$\ell = 0$	$\ell = 1$
1	$R_{10}(r) = 2 a^{-3/2} e^{-\frac{r}{a}}$	
2	$R_{20}(r) = 2 (2a)^{-3/2} \left(1 - \frac{r}{2a}\right) e^{-\frac{r}{2a}}$	$R_{21}(r) = \frac{1}{\sqrt{6a^3}} \frac{r}{2a} e^{-\frac{r}{2a}}$
3	$R_{30}(r) = 2 (3a)^{-3/2} \left(1 - \frac{2r}{3a} + \frac{2}{27} \frac{r^2}{a^2}\right) e^{-\frac{r}{3a}}$	$R_{31}(r) = \sqrt{\frac{2^5}{3^5 a}} \frac{r}{3a} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{r}{3a}\right) e^{-\frac{r}{3a}}$
⋮	⋮	⋮

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, apresentaram-se as soluções do átomo de hidrogênio em coordenadas esféricas. Através do método usual de separação de variáveis resolveu-se separadamente a parte angular e a parte radial. Escreveram-se ambas as soluções como funções hipergeométricas, como solução geral, e, através de condições físicas sobre a função de onda, como funções polinomiais de grau finito. Os polinômios encontrados coincidem com os polinômios de Legendre e Laguerre associados, como esperado.

Evidentemente, o método analítico utilizado não leva a novas soluções, mas somente a uma percepção de que existe uma solução matemática fechada e mais geral que polinômios de grau finito. Condições físicas é que levam à quantização das quantidades físicas como a energia e momentum angular e, paralelamente, a polinômios de grau finito, que são casos particulares das funções hipergeométricas.

Vale reforçar, por outro lado, que o método analítico usual de utilizar séries de Frobenius é geral e pode ser usado sempre que não se conhece soluções fechadas para um problema que envolva equações diferenciais, como é comum em Física. Ainda,

no caso da Mecânica Quântica, em particular, e quase tudo em Física, em geral, existem métodos mais poderosos e elegantes de se atacar esses problemas como é, por exemplo, o método algébrico de operadores diferenciais, um método elegante, compacto e poderoso de resolver esses mesmos problemas.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq através dos financiamentos 312251/2015-7 e 433168/2016-1 e à Universidade Estadual do Ceará onde esse trabalho foi desenvolvido, particularmente baseado nas aulas de Mecânica Quântica do Curso de Bacharelado em Física. O autor agradece ainda a todos os alunos e alunas que de forma direta ou indireta contribuíram para melhorar esta abordagem particular do problema.

APÊNDICE

Para normalizar a função radial, pode-se usar a expressão em série da função hipergeométrica, Eq. (22). Assim, tem-se

$$\begin{aligned}
1 &= \int_0^{\infty} |R_{n\ell}(r)|^2 r^2 dr \\
&= \int_0^{\infty} |A_{n\ell}|^2 \left(\frac{2}{na}\right)^{2\ell+2} r^{2\ell+2} e^{-\frac{2r}{na}} {}_1F_1\left(\ell+1-n, 2(\ell+1); \frac{2r}{na}\right)^2 dr \\
&= |A_{n\ell}|^2 \left(\frac{2}{na}\right)^{2\ell+2} \sum_{i,j=0}^{\infty} \frac{(\ell+1-n)_i (\ell+1-n)_j}{[2(\ell+1)]_i [2(\ell+1)]_j} \left(\frac{2}{na}\right)^{i+j} \frac{1}{i!j!} \int_0^{\infty} r^{2\ell+2+i+j} e^{-\frac{2r}{na}} dr \\
&= |A_{n\ell}|^2 \left(\frac{2}{na}\right)^{2\ell+2} \sum_{i,j=0}^{\infty} \frac{(\ell+1-n)_i (\ell+1-n)_j}{[2(\ell+1)]_i [2(\ell+1)]_j} \left(\frac{2}{na}\right)^{i+j} \frac{1}{i!j!} \left(\frac{2}{an}\right)^{-2\ell-3-i-j} \\
&\times \Gamma(2\ell+3+i+j)
\end{aligned}$$

Portanto,

$$|A_{n\ell}|^{-2} = \left(\frac{2}{na}\right)^{-1} \sum_{i,j=0}^{\infty} \frac{(\ell+1-n)_i (\ell+1-n)_j}{[2(\ell+1)]_i [2(\ell+1)]_j} \frac{1}{i!j!} \Gamma(2\ell+3+i+j) \quad (55)$$

A função Γ acima é tal que, se seu argumento for um número inteiro, $\Gamma(n+1)=n!$, com $n \in \mathbb{N}$. Como ℓ , n , i e j são números inteiros, pode-se escrever a equação acima como

$$|A_{n\ell}|^{-2} = \left(\frac{2}{na}\right)^{-1} \sum_{i,j=0}^{\infty} \frac{(\ell+1-n)_i (\ell+1-n)_j}{(2\ell+2)_i (2\ell+2)_j} \frac{(2\ell+2+i+j)!}{i!j!} \quad (56)$$

Escrevendo $\ell=n-m$, tal que $m=1, \dots, n$, tem-se

$$|A_{nn-m}|^{-2} = \left(\frac{2}{na}\right)^{-1} \sum_{i,j=0}^{\infty} \frac{(1-m)_i (1-m)_j (2n-2m+2+i+j)!}{(2n-2m+2)_i (2n-2m+2)_j i!j!} \quad (57)$$

Podem-se escrever os símbolos de Pochhammer de uma maneira mais conveniente para a equação acima. De maneira geral,

$$(a)_i = \frac{\Gamma(a+i)}{\Gamma(a)} = \frac{(a+i-1)!}{(a-1)!} \quad (58)$$

Assim, substituindo-se todos os símbolos de Pochhammer na Eq. (57) pela forma conveniente acima, tem-se

$$|A_{n\ n-m}|^{-2} = \left(\frac{2}{na}\right)^{-1} \sum_{i,j=0}^{\infty} \frac{\frac{(i-m)!}{(-m)!} \frac{(j-m)!}{(-m)!} (2n-2m+2+i+j)!}{\frac{(2n-2m+1+i)!}{(2n-2m+1)!} \frac{(2n-2m+1+j)!}{(2n-2m+1)!} i! j!} \quad (59)$$

Como $m=1,2,\dots,n$, os termos $(-m)!$ divergem e, portanto, o somatório torna-se nulo para quaisquer valores de m , exceto se $i=j=0$. Portanto, neste caso, reduz-se o somatório acima para uma expressão bastante simples, a saber,

$$|A_{n\ n-m}|^{-2} = \left(\frac{2}{na}\right)^{-1} (2n-2m+2) \quad (60)$$

Considerando-se que $A_{n\ n-m}$ é real, chega-se finalmente a uma expressão bem compacta, como esperado, para o fator de normalização, a saber,

$$A_{n\ n-m} = \sqrt{\frac{2}{na (2n-2m+2)!}}, \quad (61)$$

ou ainda,

$$A_{n\ \ell} = \sqrt{\frac{2}{na (2\ell+2)!}}. \quad (62)$$

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREWS, G. E.; ASKEY, R.; ROY, R. Special functions. Encyclopedia of Mathematics and its applications 71. New York: Cambridge University Press, 2006. 664p.

ARFKEN, G. B.; WEBER, H. J. *Mathematical methods for physics*. 6^a ed. London: Elsevier Academic Press, 2005. 1182p.

BELL, W. W. *Special functions for Scientists and Engineers*. New York: Dover Publications, Inc., 1996. 247p.

COHEN-TANNOUJJI, C.; DIU, B.; LALOË, F. *Quantum Mechanics*, Vol I, 2^a ed. France: John Wiley and Sons, 1977. 898p.

GRIFFITHS, D. J. *Introduction to Electrodynamics*. 3^a ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 576p.

GRIFFITHS, D. J. *Introduction to Quantum Mechanics*. 2^a ed. New Jersey: Pearson Education International, 2005. 468p.

INCE, E. L. *Ordinary differential equations*, New York: Dover Publications, Inc., 1956. 558p.

LEMOS, N. A. *Convite à Física Matemática*, 1^a ed. Editora Livraria da Física, 2013. 504p.

LIBOFF, R. L. *Introduction to Quantum Mechanics*. 2^a ed. New Jersey: Addison-Wesley Publishing Company, 1993. 782p.

MAIA, M. *Introdução aos Métodos da Física-Matemática*. 1^a ed. Brasília: Editora UNB, 2000. 222p.

OLIVEIRA, E. C. *Funções especiais com aplicações*. 1^a ed. Rio de Janeiro: Editora Livraria da Física, 2005. 504p.

OLIVEIRA, E. C.; TYGEL, M. *Métodos Matemáticos para Engenharia*. 1^a ed. Rio de Janeiro: Textos Universitários. Editora da Sociedade Brasileira de Matemática, 2010. 387p.

POOLE, E. G. C. *Introduction to the theory of linear differential equations*. New York: Dover Publications, Inc., 1960. 202p.

REITZ, M.; MILFORD, F. J.; CHRISTY, R. W. *Fundamentos da teoria eletromagnética*. 3^a ed. Rio de Janeiro: Editora Campos, 1988. 516p.

SEABORN, J. B. *Hypergeometric Functions and their applications*. 1^a ed. New York: Springer Verlag, 1991. 260p.

Isolantes Topológicos ou a Revolução Pós-Grafeno: Outro Encontro Fértil da Teoria de Campos com a Física da Matéria Condensada

Célio Rodrigues Muniz

RESUMO

Este trabalho versa sobre a descoberta recente de uma classe de materiais considerados basilares para as inovações tecnológicas de grande impacto que se despontam no horizonte: os isolantes topológicos. Essa descoberta representa a culminância de estudos teóricos que vêm progredindo desde a primeira metade da década de setenta do século passado, quando foram desenvolvidas ferramentas que se tornaram alicerces para o estudo das chamadas fases topológicas da matéria, o que rendeu o prêmio Nobel de Física de 2016 a três dos cientistas pioneiros nessa frente de pesquisa. Em termos gerais, os isolantes topológicos caracterizam-se pela inusitada propriedade de serem isolantes na sua parte interna e condutores em sua superfície ou fronteira externa, o que se deve à topologia não trivial dos seus estados quânticos eletrônicos. Esta peculiaridade é responsável pela ocorrência de fenômenos exóticos, como a magnetização do material via aplicação de um campo elétrico e, vice-versa, a sua polarização elétrica devido à presença de um campo magnético. Procuramos expor aqui outras características derivadas dessa singular propriedade, a partir do estudo do fenômeno análogo em matéria condensada conhecido como polarização do vácuo quântico, que ocorre devido à aplicação de campos eletromagnéticos de alta magnitude sobre determinados materiais. Neste trabalho propomos também uma linha investigativa que é perfeitamente exequível para os pesquisadores das instituições de ensino superior cearenses, linha que une as áreas de Teoria de Campos e Partículas e de Física da Matéria Condensada, a fim de

explorar os principais efeitos associados ao análogo da polarização do vácuo quântico no âmbito dos isolantes topológicos, tais como a produção de monopolos magnéticos efetivos e a geração de cargas topológicas - “quasepartículas” - em sua superfície, levando-se em conta influências térmicas e defeitos de estrutura presentes no material.

Palavras-chave: Isolantes Topológicos. Polarização do vácuo quântico. Quasepartículas. Monopolos magnéticos.

INTRODUÇÃO

A busca por materiais que potencializem a produção de novas tecnologias em escalas da ordem de 10^{-9} m (nanométrica) tem se intensificado em anos recentes, a partir do isolamento e caracterização do grafeno no início do presente século, o que rendeu o prêmio Nobel de Física de 2010 aos seus realizadores¹. Esse material é feito puramente de carbono e se estende em duas dimensões espaciais, apresentando a inusitada peculiaridade de ser um não-metal com alta condutividade elétrica, de modo que porta simultaneamente as propriedades mecânicas de um plástico e as eletrônicas de um metal.

Mas as descobertas não pararam por aí: os chamados Isolantes Topológicos (ITs), previstos em 2007 e observados no ano seguinte, surgem com a promessa de serem ainda mais revolucionários que o grafeno, com possíveis aplicações em spintrônica e computação quântica topológica, para citar algumas. Tais sistemas não encontram paralelo com os isolantes ordinários, pois apesar de possuírem, como estes, um apreciável *gap* interbandas no seu interior, comportam-se como condutores elétricos em suas fronteiras ou bordas. O termo “topológico” deve-se ao fato de que as funções de onda associadas aos seus estados eletrônicos

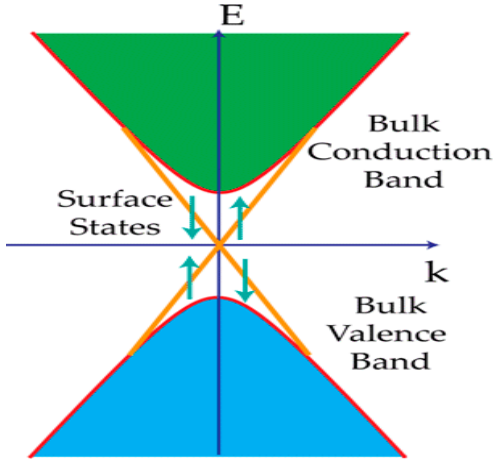
formam um espaço de Hilbert com topologia completamente não trivial, a qual se reflete na sua peculiar estrutura de bandas de energia.

A descoberta dos ITs representa a culminância de estudos teóricos que vêm progredindo desde a primeira metade da década de setenta do século passado, quando foram desenvolvidas ferramentas que se tornaram alicerces para o estudo das chamadas fases topológicas da matéria, empregando um dos poucos ramos da Matemática - a Topologia - que ainda não tinha aplicações em Física, possibilitando o surgimento do campo mais “quente” da Física da Matéria Condensada. Isso tanto é verdade que três físicos pioneiros nesses estudos foram agraciados com o prêmio Nobel deste ano (2016)². Assim, os pesquisadores responsáveis pelo extraordinário feito que foi a detecção direta das ondas gravitacionais geradas pela fusão de dois buracos negros massivos há cerca de 1 bilhão de anos atrás, anunciada este ano, vão ter que aguardar uma próxima oportunidade.

1.1 Características básicas dos ITs

Os ITs são estáveis frente a perturbações físicas externas devido às propriedades topológicas mencionadas, o que os tornam de extrema relevância no que tange às aplicações de alta tecnologia. Para este fim prático, entretanto, faz-se necessário encontrar uma consistente descrição teórica tanto de sua estrutura interna quanto de suas propriedades subjacentes, e a interface da Física da Matéria Condensada com a Teoria Quântica de Campos vem a ser de grande valia no propósito de se compreender todos os aspectos envolvendo esses intrigantes materiais, do mesmo modo que tem sido de importância cabal no entendimento do grafeno e suas aplicações.

Fig.1: Estados de condução na superfície de um IT



Os estudos teóricos e experimentais dos ITs tornaram-se acessíveis a partir da observação de um novo estado quântico da matéria em agregados tridimensionais complexos constituídos por moléculas como Bi_2Se_3 , Bi_2Te_3 e Sb_2Te_3 (ZHANG *et al.*, 2009; XIA *et al.*, 2009; CHEN *et al.*, 2009). Os estudos confirmaram que estes materiais formam uma classe especial de ITs que é bastante promissora para a geração de novas tecnologias optoeletrônicas em escala nanométrica. Essa classe é caracterizada por um conjunto de números – genericamente descritos por um índice topológico invariante Z_2 que expressa quantas vezes um estado eletrônico localizado na superfície do IT cruza o nível de Fermi entre 0 e π/a , interligando as bandas de valência e de condução, onde a é o parâmetro de rede – além de exibir simetria de inversão temporal, o que indica que a troca de sinal nos vetores de onda dos portadores de carga na zona de Brillouin não afeta as propriedades eletrônicas desses materiais.

Ocorre, assim, uma sobreposição de níveis eletrônicos pertencentes a diferentes bandas de energia relativas a essa classe de ITs, formando estados de condução em sua superfície, o que se ilustra na Fig. 1. Essa sobreposição é ocasionada fundamentalmente pelo acoplamento spin-órbita, que em metais pesados como Bi ou Sb, presentes em alguns desses materiais, é bastante acentuado. Tal interação entre o momento angular orbital e de spin dos elétrons tem suas raízes na física relativística, onde os campos elétrico \mathbf{E} e magnético \mathbf{B} podem ser intercambiáveis dependendo do ponto de vista do observador em movimento. Naqueles átomos, os elétrons das camadas mais internas movimentam-se com velocidades bastante altas, mas no referencial ligado a essas partículas é o núcleo positivamente carregado que se movimenta, gerando assim um campo magnético que é “sentido” pelo elétron devido ao seu próprio momento de dipolo magnético decorrente do spin que carrega.

Esse intercâmbio entre campos elétricos e magnéticos é de tal ordem que as propriedades topológicas do espaço de estados dos ITs ficam codificadas em um termo adicional que aparece na lagrangiana eletromagnética proporcional a $\theta \mathbf{E} \cdot \mathbf{B}$, onde θ é um pseudoescalar. Isto quer dizer que, ao se inverter as coordenadas espaciais pela sua multiplicação por -1 , o valor de θ deve mudar de sinal para que o referido termo seja invariante por essa transformação (dita de paridade), o que não ocorre com um escalar ordinário. Esse termo adicional permite descrever o meio como sendo “axiônico”, haja vista que apresenta a forma do acoplamento do campo eletromagnético com um áxion – partícula descrita por um campo pseudoescalar e que compõe um dos modelos explicativos para a matéria escura (WILCZEK, 1987). A identificação com essa exótica partícula, porém, não é completa e o mencionado termo não afeta as leis de Maxwell, uma vez que

o fator θ é constante no interior desses ITs ($\theta=\pi$); em compensação, ele muda as relações constitutivas eletromagnéticas. Estas relações traduzem-se, por exemplo, numa inesperada magnetização induzida pelo campo elétrico aplicado (ANDO, 2013).

Já na interface do IT com o ar, vácuo ou um isolante ordinário, θ muda bruscamente o seu valor de π para zero (mais precisamente, registra-se um valor considerável para o seu gradiente na direção normal à superfície do IT), o que implica uma mudança nas leis de Maxwell, notadamente na de Gauss, de modo que, em presença de um campo magnético uniforme gerado externamente surge sobre a superfície do IT uma distribuição de cargas elétricas topológicas que têm valor fracionário em relação à carga elementar. Outros fenômenos exóticos decorrem desse acoplamento do gradiente de θ com o fluxo magnético externo, como o aparecimento de um monopolo magnético no interior do IT que é imagem de uma carga elétrica posicionada exteriormente ao material (QI *et al.*, 2009), bem como a contribuição independente do magnetismo para o efeito ótico de Kerr/Faraday. E, o que é importante para o trabalho a ser desenvolvido aqui, ocorre também uma tensão mecânica de cisalhamento - um “estiramento” da superfície do IT (ou encolhimento, dependendo do sentido do campo aplicado), o que contribui para a deformação do material, um fenômeno que é devido unicamente ao análogo da polarização do vácuo induzida pelo campo magnético incidente (MUNIZ *et al.*, 2015).

1.2 Análogo da Polarização do Vácuo Quântico nos ITs

Estritamente falando, a polarização do vácuo quântico é causada pela criação de pares de partículas e antipartículas quando campos eletromagnéticos de alta magnitude estão presentes

em uma região do espaço na qual se fez vácuo. Como se sabe, o vácuo da teoria quântica de campos, diferentemente do que ocorre no contexto da Física clássica, é uma entidade ativa onde, de forma espontânea, partículas e antipartículas não diretamente detectáveis estão o tempo todo surgindo e aniquilando-se mutuamente. No início dos anos cinquenta do século passado, o físico nova-iorquino J. Schwinger demonstrou ser possível um campo elétrico macroscópico de alta intensidade, homogêneo e estático, tornar esse vácuo quântico completamente instável, “polarizando-o” a ponto de permitir a geração de abundantes pares elétrons-pósitrons perfeitamente detectáveis. Uma década e meia antes dele, porém, W. Heisenberg e H. Euler estudaram a possibilidade da ocorrência de tal efeito usando outros pressupostos teóricos. Para estes pesquisadores, o mencionado efeito emergiria das correções quânticas de primeira ordem feitas ao eletromagnetismo clássico de Maxwell-Lorentz (HEISENBERG e EULER, 1936). Schwinger, alternativamente, usou o esquema teórico da Eletrodinâmica Quântica (QED) recém-desenvolvida, e encontrou a forma exata da amplitude de probabilidade para que ocorresse o referido processo de criação de pares de partículas- antipartículas a partir do campo elétrico incidente (SCHWINGER, 1951). Porém, a abordagem de Schwinger mostra que, para se produzir esses pares em quantidade mensurável, necessita-se de um campo elétrico crítico da ordem de 10^{18} V/m, valor que excede consideravelmente a capacidade tecnológica atual da humanidade, uma vez que o mais intenso campo elétrico gerado em laboratórios terrestres oscila em certos feixes de laser, alcançando 10^8 V/m.

Constata-se que tal valor torna o efeito Schwinger impossível de ser observado no presente, pois a amplitude de probabilidade para a geração dos pares é proporcional a uma exponencial que decresce com a razão entre os campos elétricos crítico e

aplicado. Cumpre assinalar que a versão dinâmica deste efeito, induzido agora por campos elétricos variando no tempo e no espaço, foi recentemente analisada (BLASCHKE *et al.*, 2009).

No contexto da física da matéria condensada, tem-se que, em semicondutores de baixa dimensionalidade, a velocidade limite dos portadores é muito menor que a da luz no vácuo (c). Assim, por exemplo, a velocidade de Fermi (v_F) no poliacetileno (sistema unidimensional) ou no grafeno (sistema bidimensional), resfriados a temperaturas próximas a 0 K, é cerca de mil vezes menor que c , o que, em princípio, propiciaria a detecção do efeito análogo ao de Schwinger, que é a produção de pares elétrons-buracos³ via incidência de campos elétricos estáticos e homogêneos. Neste caso, verifica-se que o campo crítico é da ordem de 10^9 V/m, valor que já se aproxima da intensidade dos campos gerados pela atual tecnologia. No caso do grafeno, existem propostas para a medição do referido efeito (ALLOR, 2008), ainda não concretizadas. Em um trabalho teórico publicado recentemente (MUNIZ e CUNHA, 2015), determinou-se a influência da geração de pares elétrons-buracos, via incidência de campos elétricos de alta intensidade, nas propriedades eletrônicas do poliacetileno.

Embora não seja o foco deste trabalho, vale a pena discorrer brevemente aqui acerca de um fenômeno que tem a mesma natureza da polarização do vácuo induzida por campos externos: o efeito Casimir. Este é também oriundo de uma perturbação do vácuo quântico, desta feita causada pela presença de fronteiras físicas ou topologias não triviais do espaço em que ocorre, podendo ou não estar associado a efeitos mecânicos mensuráveis. Uma quantidade considerável de trabalhos teóricos e experimentais tem sido publicada desde a formulação original, feita pelo físico holandês H. Casimir em 1948, relativamente ao efeito macroscópico causado por modificações nas flutuações da energia do

vácuo quântico do campo eletromagnético (CASIMIR, 1948). O efeito descrito originalmente consiste de uma força de atração que surge entre duas placas condutoras ideais paralelas, eletricamente descarregadas, espaçadas por uma pequena distância e colocadas em um vácuo perfeito à temperatura zero. Este fenômeno foi confirmado experimentalmente dez anos mais tarde com um grau de precisão não muito grande. Medidas contemporâneas, entretanto, da força de Casimir entre as placas metálicas descarregadas com espaçamento de cerca de 1 micrômetro têm reduzido essa incerteza para algo em torno de 1%. Numerosos artigos publicados nas últimas décadas têm abordado vários tipos de configurações geométricas, campos quânticos, materiais, espaços-tempos, topologias e condições térmicas. Estes e os últimos desenvolvimentos, tanto teóricos quanto experimentais, são descritos detalhadamente em robusta obra recentemente publicada, a qual destina-se exclusivamente ao estudo do efeito Casimir em todos os seus aspectos (BORDAG *et al.*, 2015). Tão amplas são suas aplicações, além das tecnológicas, que os autores da obra discutem até as restrições que as atuais medidas desse efeito impõem aos modelos teóricos vigentes de matéria escura.

O efeito Casimir também pode ser gerado pelo próprio campo gravitacional numa configuração formada por placas supercondutoras (QUACH, 2015), cuja medida permitiria a primeira detecção experimental de grávitons. Diferentemente do que ocorre com sua contrapartida clássica - as ondas gravitacionais - cuja detecção envolve conjuntos de interferômetros medindo alguns quilômetros e afastados entre si por distâncias continentais (LIGO), a detecção de grávitons ocorreria em experimentos *top table*, ligados à acima referida forma de se medir a força de Casimir.

O referido efeito também pode estar presente em espaços vazios com topologia não euclidiana, inclusive em modelos cosmológicos (BEZERRA *et al.*, 2016). Nesses espaços não há fronteiras materiais, mas as condições de identificação impostas aos campos físicos podem substituir essas fronteiras. Finalmente, o efeito Casimir envolvendo topologias não triviais de espaços mais abstratos do tipo que nos interessa aqui foi considerado recentemente em dois blocos delgados formados por ITs, posicionados próximos um do outro, por Nie e colaboradores. (NIE *et al.*, 2013).

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E PROBLEMATIZAÇÃO

Uma incursão pela literatura científica atual mostra que os fenômenos do vácuo quântico que ocorrem devido à incidência de campos eletromagnéticos externos e/ou à presença de fronteiras físicas, como os efeitos Schwinger e Casimir, ainda foram pouco investigados no âmbito dos ITs. De fato, quanto à análise do primeiro efeito, não há qualquer trabalho publicado até o presente momento, e este ensaio procura apontar uma linha de investigação nesse sentido. Assim, um estudo preliminar realizado pelo autor deste trabalho mostra que, devido ao fenômeno de polarização elétrica induzida por campos magnéticos no interior de ITs tridimensionais dotados com simetrias Z_2 e de inversão temporal, estes campos podem contribuir *per se* para a produção de pares elétrons-buracos, o que é proibido no contexto de isolantes ordinários (ou do vácuo, em se tratando da criação de elétrons-pósitrons); ou seja, tais pares só podem ser produzidos nestes meios uma vez que campos elétricos também estejam presentes, ou somente por estes. Assim, dar continuidade a essa

análise torna-se importante na medida em que possibilita o entendimento de diversos aspectos envolvendo mais um fenômeno inédito relacionado aos ITs, com possíveis impactos na geração de tecnologias em que o magnetismo desempenhe um papel relevante. Da mesma forma, compreender como a polarização do vácuo afeta as propriedades da superfície condutora dos ITs em situações mais realistas do que aquela investigada pelos autores do trabalho acima referido (MUNIZ *et al.*, 2015), reveste-se de considerável importância em virtude de que o *design* de componentes optoeletrônicos miniaturizados que eventualmente utilizem ITs deve levar em conta cada vez mais os efeitos devidos às flutuações do vácuo quântico.

Como afirmado anteriormente, entre os sistemas cuja topologia não trivial reside não em sua forma geométrica ou no espaço físico em que estão situados, mas no próprio espaço de estados quânticos que definem suas propriedades eletrônicas, estão os ITs com as simetrias assinaladas. Uma consequência importante dessa peculiar característica está no fato já comentado de que a polarização elétrica da parte isolante do material é induzida por um campo puramente magnético (e, vice-versa, pode-se magnetizar o IT com um campo elétrico puro). Isto se deve às relações entre as propriedades elétricas e magnéticas do meio e os campos nele existentes - as chamadas relações constitutivas, que são completamente distintas daquelas que prevalecem em materiais ordinários. Este fato traz implicações inesperadas quando da incidência de campos elétricos e magnéticos de alta intensidade, como é o caso do efeito Schwinger, sendo que a principal delas é a possível geração de pares elétrons-buracos unicamente a partir do campo magnético, com o elétrico desligado. É de se esperar que este fenômeno guarde uma estreita similaridade, que vai além do meramente formal, com a criação de pares de monopolos magnéticos

no vácuo, conforme previsto teoricamente no início da década de 80 do século passado (AFFLECK e MANTON, 1982). Essa semelhança deve também ser explorada a partir daqui, onde apontamos para uma forma de se medir indiretamente, por meio da aplicação de campos magnéticos de alta intensidade sobre ITs dotados com as referidas simetrias, o chamado efeito Witten, que ainda não foi devidamente observado: um monopolo magnético elementar em um meio “axiônico”, conforme descrito anteriormente, transportará carga elétrica igual a $q = -e\theta/2\pi$ (WITTEN, 1979). Como $\theta = \pi$ no interior dos ITs, tem-se que as unidades que constituem os pares gerados devem ter metade da carga elementar, tratando-se, na verdade, de quasepartículas emergentes com carga eletrônica fracionada. Cabe assinalar mais uma vez que a ocorrência da partícula portadora de carga magnética no contexto de ITs se dá também no processo de formação de carga-imagem no interior desses materiais (QI *et al.*, 2009).

Já quando os dois campos (elétrico e magnético) estão presentes, cabe analisar como o fenômeno da geração de pares no interior do IT varia de acordo com a disposição espacial relativa dos mesmos, isto é, conforme sejam paralelos ou antiparalelos entre si. Análises preliminares dão conta de que os comportamentos diferem bastante, o que precisa ser aprofundado. O estudo do caso em que os campos variam espacial e temporalmente precisa também ser empreendido, a partir da resolução da equação cinética (na aproximação sem colisões) que descreve certas funções de distribuição, a qual é governada por um termo fonte não-markoviano (isto é, sem memória) para a produção de pares. Neste contexto, geralmente ocorrem problemas de divergência (infinitos indesejáveis) que deverão ser atacados pelos métodos usuais de regularização utilizados na QED.

No que se refere à superfície condutora dos ITs com as ditas simetrias, o cálculo do valor esperado de vácuo para a energia e a pressão, ou, em outras palavras, para as componentes do tensor energia-momento do campo sob análise (basicamente o campo espinorial - aquele que descreve elétrons e neutrinos, por exemplo) a partir da função de Green, deve levar em conta a ocorrência dos estados quânticos que formam o espaço de Hilbert com topologia não trivial, o que resulta em uma modificação ou desvio desses valores em relação aos que são calculados no contexto de superfícies ordinárias, cuja significância cumpre determinar a partir dos parâmetros físicos envolvidos. O cálculo torna-se factível na medida em que essa topologia está codificada em um ou mais parâmetros característicos do sistema, como na carga elétrica dos portadores, por exemplo, a qual passa a depender do fluxo do campo magnético incidente, uma vez que agora está se lidando com uma quasepartícula emergente. Essa dependência com o fluxo introduz um elemento geométrico que permite agora inferir uma força tangencial (ou uma tensão de cisalhamento), o que comumente não ocorre.

Ao serem investigadas as flutuações de vácuo de campos espinoriais, cumpre distinguir entre os férmions de Dirac e os de Majorana, uma vez que os valores esperados de vácuo para a energia e a pressão podem ser bem diferentes conforme se leve um ou outro desses campos em consideração. Os férmions de Majorana, em contraste com os de Dirac, são partículas de spin $1/2$ que são suas próprias antipartículas, e parecem desempenhar um papel importante quando ocorre a transição do estado condutor para o supercondutor na superfície do IT, quando este é resfriado até a temperatura crítica (LIU e JIA, 2014). Encontrar descontinuidades na energia livre de Helmholtz - a função a partir da qual se extraem as principais variáveis termodinâmicas

do sistema - ou em suas derivadas com relação à temperatura, associada às flutuações térmicas do vácuo quântico relativo ao espinor de Majorana parece ser um indicativo das transições de fase do tipo descrito acima. Finalmente, aspectos que tornam a análise mais realista e interessante, como a inclusão de efeitos térmicos e a presença de defeitos de estrutura tipo singularidades cônicas (disclinações), os quais certamente afetam de forma importante a polarização do vácuo na superfície do IT, também devem ser levados em consideração.

2.2 INVESTIGANDO-SE A POLARIZAÇÃO DO VÁCUO NOS ITs

Uma linha de pesquisa perfeitamente exequível no contexto da Física cearense consiste na análise dos principais efeitos causados pela polarização do vácuo de campos quânticos, tanto no interior quanto na superfície de ITs tridimensionais com simetrias Z_2 e de inversão temporal. Vimos que essa polarização é causada fundamentalmente pela presença de campos elétricos e magnéticos macroscópicos gerados externamente ao IT. Assim, possíveis atividades ligadas à mencionada linha investigativa incluiriam: 1) Estudo das propriedades básicas dos isolantes topológicos, em geral, e frente à ação de campos eletromagnéticos, em particular. 2) Análise do efeito Schwinger no interior dos ITs considerando que os mesmos são estáticos e uniformes, relacionando-o ao problema da geração de monopolos magnéticos via ação de campos magnéticos no vácuo. 3) Análise do efeito Schwinger no interior dos ITs considerando que os mesmos variam espacial e temporalmente. 4) Investigação do efeito da geração de pares elétrons-buracos sobre as propriedades eletrônicas do material. 5) Análise de como a polarização do vácuo é afetada por efeitos térmicos e defeitos tipo disclinações na superfície do

IT, estendendo trabalho já publicado pelo autor e colaboradores. 6) Análise da polarização do vácuo de férmions de Majorana na superfície do IT. 7) Estudo da ocorrência de possíveis transições de fase. 8) Investigação de possíveis efeitos mecânicos sobre a superfície do IT decorrentes da polarização do vácuo e proposição de experimentos para medi-los.

A análise do efeito Schwinger no interior dos ITs com as referidas simetrias compreende, inicialmente, o cálculo da ação efetiva a $1-loop$ para o campo espinorial, fazendo-se a adequada escolha do *gauge* para o potencial eletromagnético associado aos campos incidentes e levando-se em conta o termo de acoplamento do pseudoescalar θ com esses campos. A parte imaginária da ação efetiva, seguindo a metodologia de Schwinger, fornece a amplitude de transição vácuo-a-vácuo (ou persistência do vácuo) para a geração de pares elétrons-buracos, o que por sua vez fornece o número desses pares por unidade de volume por unidade de tempo, inclusive no limite em que o campo elétrico tende a zero, o qual já foi discutido ser possível no presente contexto. Neste caso, uma comparação com o resultado do trabalho citado mais acima sobre a criação de monopolos no vácuo ordinário a partir de campos magnéticos é possível de ser feita, de modo a se estabelecer a detecção dos pares elétrons- buracos no interior do IT como uma medida do efeito Witten.

Por outro lado, os efeitos de criação de pares elétrons-buracos a partir da incidência simultânea dos dois campos podem ser cotejados graficamente ao se levar em conta o paralelismo ou o antiparalelismo dos mesmos, observando-se a presença de mínimos e máximos locais em função da intensidade dos campos aplicados. Já o estudo sobre o efeito dessa geração de pares nas propriedades eletrônicas do material segue um método similar ao empregado

no trabalho sobre a molécula do poliacetileno - um polímero com características metálicas - anteriormente referido (MUNIZ e CUNHA, 2015). No que concerne à incidência de campos estáticos e uniformes, há em geral solução analítica para o problema do efeito Schwinger, diferente do que acontece no caso dinâmico, em que um tratamento numérico é sem dúvida necessário. O estudo deste último baseia-se na chamada abordagem cinética, que usa a função de distribuição de quasepartículas na representação do momento. A equação cinética para esta função pode ser derivada a partir da equação de Dirac ou de Klein-Gordon, pelo método da transformação canônica de Bogoliubov ou na abordagem da representação de oscilador (BLASCHKE, 2009).

A análise da polarização do vácuo na superfície condutora do IT leva em conta o fluxo magnético incidente sobre ela, permitindo que se redefina a carga dos portadores em termos desse fluxo, o que as fazem adquirir, portanto, uma natureza topológica. Isto propicia também o surgimento de cargas fracionárias, ideia desenvolvida por Jainendra K. Jain, que mostrou que essas excitações coletivas ou quasepartículas, denominadas férmions compostos, podem ser consideradas como uma combinação da carga do elétron com o *quantum* de fluxo magnético (JAIN, 2012). Assim, o que é um problema de muitos corpos passa a ser tratado como um problema de um ou dois corpos, facilitando imensamente o tratamento analítico.

As correções térmicas ao problema já resolvido à temperatura zero (MUNIZ *et al.*, 2015), com a carga elétrica redefinida da forma acima, podem ser efetuadas a partir da função de partição no *ensemble* grã-canônico calculado no espaço euclidiano (assinatura +++ para a métrica), a qual permite inferir por sua vez a energia livre de Helmholtz e daí as grandezas termodinâmicas pertinentes. Neste caso, o procedimento de regularização

visando à remoção das eventuais divergências baseia-se na continuação analítica da função zeta de Riemann e suas correlatas (BENEVENTANO e SANTANGELO, 2006).

A inclusão de defeitos de estrutura tipo singularidades cônicas (disclinações) deve considerar condições de identificação para a função de Green associada ao problema, a partir da qual se calculam os valores esperados de vácuo para o tensor energia-momento. Isto é feito levando-se em conta um fator de déficit (ou de superávit) aplicado ao ângulo azimutal no sistema de coordenadas polares a ser empregado (MORAES, 1995). Cumpre destacar que os problemas assinalados até aqui deverão ser refeitos considerando-se uma representação imaginária das matrizes gama de modo a descrever os férmions de Majorana em 2+1 dimensões. Neste caso, transições de fase deverão ser investigadas ao se explorar eventuais singularidades na energia livre, verificando assim se a transição condutor-supercondutor manifesta-se também nas flutuações térmicas do vácuo quântico associado ao campo de espinores de Majorana.

Sumarizando, as etapas básicas dessa linha de pesquisa envolvem levantamento bibliográfico, delineamento dos problemas, busca de soluções e análise dos resultados. Além disso, devido à complexidade dos cálculos, faz-se necessário o uso de ferramentas computacionais, numéricas e simbólicas, visto que nem sempre há uma solução analítica à mão.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este ensaio procurou abordar aspectos básicos de um grupo de materiais que promete revolucionar a tecnologia voltada para a montagem de componentes eletrônicos miniaturizados - os isolantes topológicos. Em termos bastante simples, estes mate-

riais caracterizam-se essencialmente pela propriedade de serem isolantes “por dentro” e condutores “por fora”, o que se deve à topologia não trivial dos seus estados quânticos eletrônicos, causada pelo acoplamento spin-órbita envolvendo alguns elétrons e o núcleo atômico dos metais pesados que existem em sua estrutura. Nesta abordagem, de natureza tanto teórica quanto fenomenológica, foram enfatizados determinados efeitos em ITs com simetrias Z_2 e de inversão temporal, análogos à polarização do vácuo associado a campos quânticos, como o efeito Schwinger, oriundos da geração de pares elétrons-buracos no interior desses materiais e da formação de quasepartículas na superfície condutora dos mesmos, a partir da aplicação de campos eletromagnéticos de alta magnitude gerados externamente ao material.

O estudo do análogo da polarização do vácuo quântico em ITs pode constituir uma linha de pesquisa extremamente dinâmica e prolífica, gerando resultados importantes ao interconectar a teoria de campos e partículas com a física da matéria condensada, através do estudo de materiais exóticos com potencial ilimitado para aplicações de alta tecnologia, propiciando o desenvolvimento de novas ferramentas analíticas e computacionais a partir da investigação dos problemas propostos e promovendo, ademais, a transversalidade entre áreas distintas do conhecimento.

O estado do Ceará conta com grupos de pesquisa em Física altamente qualificados em suas instituições de ensino superior, de modo que o estabelecimento dessa linha de investigação no âmbito dos ITs permitiria a inserção de pesquisadores cearenses em uma movimentada e promissora fronteira da ciência contemporânea, oportunizando também o adequado treinamento de estudantes que vão desde a iniciação científica júnior, nas escolas de Ensino Médio, até o doutorado, todos alinhando-se à *expertise*

de pesquisadores situados em outras regiões do país e do exterior, contribuindo assim para a expansão da pesquisa de ponta no estado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFLECK, I. K. e MANTON, N. S., Monopole Pair Production in a Magnetic Field, **Nucl. Phys. B**, v. 194, p. 38, 1982.

ALLOR, D., COHEN, T. D. e MCGADY, D. A., The Schwinger mechanism and graphene, **Phys.Rev.D**, v. 78, p. 096009, 2008.

ANDO, Y., Topological Insulator Materials, **J. Phys. Soc. Jap**, v. 82, nr. 10, p. 102001, 2013.

BENEVENTANO, C.G. e SANTANGELO, E.M., Finite-temperature relativistic Landau problem and the relativistic quantum Hall effect, **J.Phys. A**, v. 39, p. 7457, 2006.

BEZERRA, V. B., MOTA, H. F. e MUNIZ, C.R., Remarks on a gravitational analogue of the Casimir effect, **Intl.J.Mod.Phys.D**, v. 25, 1641018, 2016.

BLASCHKE, D. B. *et al.*, Dynamical Schwinger effect and high-intensity lasers. Realising nonperturbative QED, **Eur. Phys. J. D**, v. 55, p. 341 (2009).

BORDAG, M., KLIMCHITSKAYA, G. L., MOHIDEEN, U. e MOSTEPANENKO, V. M.,

Advances in the Casimir Effect, Ed.1, Oxford Science Publications, 2015. 749 p.

CASIMIR, H.B.G., On the attraction between two perfectly conducting plates, **Proc. K. Ned. Akad. Wet. B**, v. 51, p.793, 1948.

CHEN, Y.L. *et al.*, Experimental Realization of a Three-Dimensional Topological Insulator, Bi₂Te₃, **Science**, v. 325, nr. 5937, p. 178, 2009.

HEISENBERG, W. e EULER, H. Folgerungen aus der Diracschen Theorie des Positrons, **Z. Phys.**, v. 98, p. 714, 1936.

JAIN, J.K., **Composite Fermions**, Cambridge University Press, 2012, 560 p.

LIU, C. e JIA, J-F, Creating Majorana fermions in topological insulators, **Nat. Sci. Rev.**, v. 1, nr. 1, p. 36, 2014.

MORAES, F., Casimir effect around disclinations, **Phys.Lett. A**, v. 204, nrs. 5-6, p.399, 1995.

MUNIZ, C.R. e CUNHA, M. S., Effects of strong electric fields in a polyacetylene chain, **J. Phys. Chem.Solids.**, v.82, p. 17, 2015.

MUNIZ, C. R., TAHIM, M. O., SARAIVA, G. D. e CUNHA, M. S., Vacuum polarization at the boundary of a topological insulator, **Phys. Rev.D**, v. 92, p. 025035, 2015.

NIE, W. et. al., Casimir force between topological insulator slabs, **Phys. Rev. B**, v. 88, p. 085421, 2013.

QI, X.L. *et al.*, Inducing a Magnetic Monopole with Topological Surface States, **Science**, v. 323, nr. 5918, p. 1184, 2009.

QUACH, J., Gravitational Casimir Effect, **Phys. Rev. Lett.**, v. 114, p.081104, 2015.

WILCZEK, F., Two applications of axion electrodynamics, **Phys. Rev. Lett.**, v. 58, p. 1799, 1987.

WITTEN, E, Dyons of Charge $e\theta/2\pi$, **Phys. Lett. B**, v. 86, p. 283, 1979.

XIA, Y. et al., Observation of a large-gap topological-insulator class with a single Dirac cone on the surface, **Nature Physics**, v. 5, p.398, 2009.

ZHANG. H. et al., Topological insulators in Bi₂Se₃, Bi₂Te₃ and Sb₂Te₃ with a single Dirac cone on the surface, **Nature Physics**, v. 5, p. 438, 2009.

RESUMOS EXTENDIDOS

Espectroscopia de emissão atômica em meteoros

Lauriston de Sousa Trindade e Carlos Augusto Bella Di Pietro

RESUMO

A presente pesquisa utiliza como base de dados as capturas de espectros de emissão atômica, produzidos por meteoros em queima na atmosfera terrestre. Tem como objetivo a demonstração de que é possível conduzir análises de emissão atômica de algumas espécies químicas presentes nos meteoritos, antes mesmo de resgatá-los. Para exemplificar a obtenção de dados tratáveis estatisticamente, nos valemos da experiência dos registros feitos pela BRAMON - Brazilian Meteor Observation Network. Essa rede de monitoramento de meteoros com 60 câmeras em 17 estados brasileiros, todas as noites registra a ocorrência de meteoros. Algumas câmeras da rede estão equipadas com grades de difração de 200 linhas por mm. Sempre que um meteoro brilhante { magnitude menor que -2} é filmado pelo sistema, o espectro de difração da luz de sua queima também o é. Após isolamento da imagem do espectro dos quadros do vídeo gerado, é possível a determinação de sua composição química através de comparação com outros espectros padrões. Isto possibilita o agrupamento de meteoros não somente em riantes, mas em assinaturas químicas que, uma vez determinadas, ajudam a entender a natureza do corpo parental ou mesmo a determinação de chuvas de meteoros não catalogadas. O grande interesse da pesquisa é poder comparar um espectro de meteoro com a composição do meteorito gerado, uma vez que o mesmo possa ser resgatado. Isto refinaria as calibrações das medições de espectros e elevaria os dados sobre astroquímica de meteoros. Uma atividade complementar a esta pesquisa é transformar a metodologia de registros em ferramenta pedagógica para o Ensino Médio e o Ensino Superior. Isto ofereceria condições de incluirmos mais uma atividade prática para o ensino da identificação de elementos químicos através do uso de espectros.

Palavras-chave: Meteoros. Meteoritos. Emissão Atômica. Espectrofotometria. BRAMON.

1. INTRODUÇÃO

Em 1802, o químico inglês Willian Hyde Wollaston notou a existência de algumas linhas escuras no espectro solar. Posteriormente e de forma independente, Joseph von Fraunhofer {1787 – 1826} redescobriu as várias linhas escuras fracas e fortes do espectro do Sol. Um total de 570 linhas foram identificadas.

Com as pesquisas de Bunsen e Kirchhoff percebeu-se que cada elemento químico possui uma “assinatura”, dada por um conjunto de linhas espectrais associadas. Assim, astificadas e catalogadas, sendo as mais proeminentes marcadas de A a K. Linhas escuras no espectro solar eram provenientes da absorção causada por alguns elementos químicos nas camadas externas do Sol, bem como na atmosfera terrestre. Isso propiciou a sinalização da existência de elementos químicos ainda não catalogados à época, como foi o caso do Hélio, que somente foi “descoberto” 17 anos após os estudos de Bunsen e Kirchhoff.

As chamadas “Linhas de Fraunhofer” são de grande importância para o estudo de composição dos corpos celestes que emitem ou refletem suficiente luz para gerar espectros. É possível determinar parte da composição de tais objetos sem que precisemos ter “em mãos” uma amostra física para determinações.

Com o desenvolvimento das técnicas de absorção e emissão atômica, no século XX, muitos usos foram surgindo para a espectrometria. E alternativas para os registros de espectros também surgiram. Não seriam necessários grandes sistemas com grades de difração e monocromadores. O aperfeiçoamento da qualidade óptica de materiais diminuiu custos de aquisição dos mesmos. Por outro lado, o desenvolvimento da informática automatizou processos e facilitou a obtenção de análises espectrais.

Pesquisas relevantes sobre espectroscopia de meteoros iniciaram ainda no século XIX, Alexander Herschel, neto do astrôno-

mo William Herschel fez as primeiras observações de meteoros levando em conta as “cores” surgidas na sua fase de queima na atmosfera. Era tudo visual. Registros fotográficos dos espectros foram realizados, primeiramente, pelo Observatório de Moscou, já nas duas primeiras décadas do século XX. Foi um processo tão lento de aquisição de dados que até o final da segunda guerra mundial {1945} somente 60 imagens de espectros de meteoros existiam. O pós-guerra trouxe muito desenvolvimento tecnológico e, com melhores equipamentos, mais e mais espectros foram sendo registrados. Atualmente existem milhares de imagens, sejam em fotografia ou em vídeo de alta resolução.

Alguns trabalhos envolvem somente a estética dos espectros em relação às capturas de meteoros, mas outras pesquisas têm se desenvolvido no sentido de buscar entender: a dinâmica meteor-atmosfera, a relação velocidade de entrada e nível de ionização das espécies, agrupamentos de meteoros por famílias químicas.

Grande parte dos meteoros registrados está associado a uma “chuva”. Tal “chuva” é produzida pela entrada de partículas asteroidais ou cometárias na atmosfera terrestre. Membros de uma mesma chuva possuem características físico-químicas semelhantes. Assim, os espectros de membro de uma mesma chuva tendem a funcionar como uma assinatura química daquela “família”.

Espectros gerados por meteoros exibem brilhantes linhas. Tanto de átomos simples ionizados quanto de algumas moléculas diatômicas. Também é possível o registro de ionização de elementos presentes na atmosfera terrestre: nitrogênio e oxigênio são exemplos.

Assim, utilizando-se as premissas simples da espectrometria de emissão atômica é possível determinar a composição qualitativa de uma amostra que tenha recebido suficiente energia para excitação dos átomos presentes.

Os meteoros são bons espécimes para estudo porque em sua entrada na atmosfera acabam por aumentar enormemente sua temperatura superficial. A fricção com o ar, gera calor suficiente para envolver os meteoros em plasma e isto é energia suficiente para ionizar pequenos átomos como o Oxigênio e do Nitrogênio.

Assim, com o aumento das técnicas de registro dos meteoros através do uso de imagens, a praticidade da captura de espectros também aumentou.

2. DESENVOLVIMENTO DO ARTIGO CIENTÍFICO

O avistamento de meteoros foi, muitas vezes, uma atividade relegada à sorte. Assim, quanto menos entendemos os mecanismos envolvidos no surgimento das chamadas “estrelas cadentes”, mas fortuito parece sua observação.

Alguns dos primeiros sistemas de monitoramento surgiram para vigiar os céus noturnos em busca de mísseis ou foguetes de países rivais. Tais sistemas acabam por registrar fenômenos atmosféricos, tais como: relâmpagos, sprites e auroras. E também passou a registrar a ocorrência de reentrada de lixo espacial e meteoros.

Quando passamos a entender as prováveis origens dos meteoros, como objetos asteroidais e cometários, entendemos ali, a existência de uma chance de estudos da nebulosa de formação do nosso sistema solar ou mesmo dos componentes ancestrais vindo das Nuvem de Oort.

Variations in elemental composition, mineralogy, or morphological structure at this size scale can arise from processes such as cometary collisions and radio nuclear heating in the solar nebula at the time of the origin of the solar system, and primordial comet crust processing by cosmic rays during residence in the Oort cloud. {Jenniskens, 2007}

Uma vez que a abundância de meteoros é maior que a de meteoritos, desenvolver técnicas de estudos das composições daqueles é fundamental.

Quando o monitoramento de meteoros surgiu no Brasil, na metade da década de 2000, os objetivos iniciais se referiam ao simples registro de ocorrência de meteoros. Eventualmente, ocorriam a coleta de relatos de avistamentos de bólidos para uma possível triangulação de trajetória e posterior tentativa de resgate de meteoritos.

Com o estabelecimento da Rede BRAMON – Brazilian Meteor Observation Network, o número de câmeras de monitoramento do céu noturno passou a crescer no Brasil. Vários produtos científicos passaram a ser vislumbrados e um destes produtos é o estudo de espectroscopia de emissão atômica dos meteoros.

2.1 Metodologia de aquisição dos espectros de emissão atômica de meteoros

Uma câmera de circuito interno de TV é utilizada como receptor as imagens do céu noturno. Dotada de objetiva com grande abertura {F/1.0} e sem o filtro I.R. Torna-se suficientemente sensível para, em algumas configurações, conseguir registrar estrelas de magnitude de até 7.4. Isto é, bem abaixo do limite de visualização do olho humano.

A câmera utilizada em minha estação BRAMON localizada em Maranguape é uma SAMSUNG SCB-2000 modificada sem o filtro I.R. e com sensibilidade de 0,01Lux.

A câmera é controlada por um software que monitora mínimas alterações de luz nas imagens registradas. Com mínimos movimentos captados, inicia-se a gravação de uma sequência de

vídeo. No caso, toda a Rede BRAMON utiliza o Software UFO Capture, desenvolvido pela SONOTACO.

Os arquivos gerados são salvos e sequenciados em pasta específica.

Um segundo software é utilizado para a análises dos registros. Toda a Rede BRAMON utiliza o software UFO Analyzer, também desenvolvido pela SONOTACO. Nesta etapa fazemos a decoupage dos vídeos. E a determinação de magnitude e velocidade do meteoro e se ele faz parte de alguma chuva catalogada.

Caso mais de uma estação consiga registrar o mesmo meteoro, será possível, por triangulação geométrica estimar sua órbita. Aqui, o software usado é o UFO Orbit, da SONOTACO.

Algumas câmeras da Rede BRAMON estão equipadas com grades de difração, a maioria de 200 linhas por mm. Assim, todo meteoro brilhante {magnitude menor que -3.0} será capaz de ter luz suficiente para gerar um espectro capaz de ser registrado no vídeo.

Então, basta isolar a imagem do espectro e, através de uso de software de leitura de espectros, é possível estimar o comprimento de onda dos vários picos de luz obtido. A comparação com um padrão calibrado é necessária para a determinação de equivalência de tais picos e a determinação dos elementos químicos associados.

Como citado anteriormente, parte das câmeras BRAMON opera com grades de difração de 200 linhas por milímetro. Isto já oferece espectros de resolução tal que é possível discernir linhas espectrais características para: Ca, Fe, O, N e Na. Obviamente, quanto maior a quantidade de linhas de dispersão da grade, maior será a resolução entre os picos e melhor será a avaliação dos elementos associados ao meteoro.

For the stream meteors the most prominent features, apart from of oxygen and nitrogen, are from the elements sodium, magnesium, silicon, calcium and iron. {Milman, 1980}

Temos duas opções de softwares para “leitura”, calibração e interpretação dos espectros gerados. A saber: Vspec e Rspec. Estes softwares têm características distintas na forma de condução das análises dos espectros. O Vspec é bastante completo, sendo possível uma serie de customizações e tratamentos matemáticos dos dados. Este software é de versão livre. Já o Rspec é mais intuitivo, facilitando o fluxo com seu trabalho. As versões trial são utilizadas para o treinamento de novos operadores e as versões pagas ficam com os operadores que já possuem experiência nas análises de órbitas.

2.2 Gabaritos espectrais

A Rede de Monitoramento de Meteoros Europeia – EDMOND tem feito trabalho de registros de espectros de meteoros desde o início da década de 10 deste século. Els possuem vários registros e a formação de um bom banco de dados dos perfis espectrais de várias chuvas de meteoros clássicas.

A Figura 1 mostra um espectro obtido em agosto deste ano, durante a chuva de meteoros Perseida. A Figura 2 mostra o gráfico de distribuição de intensidade luminosa por comprimento de onda.

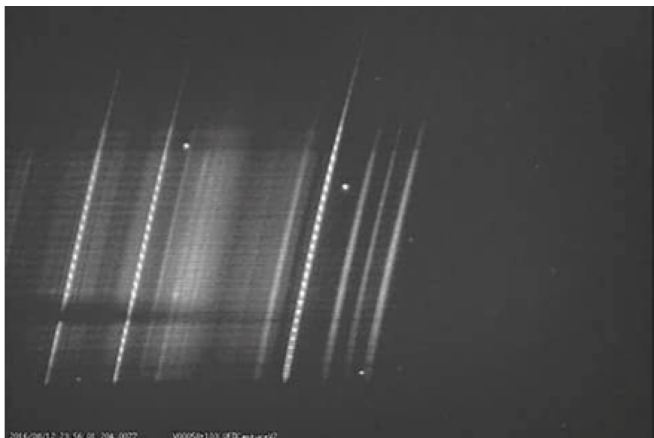


Figura 1. Espectro de um meteoro Perseida. Foto Rede EDMOND

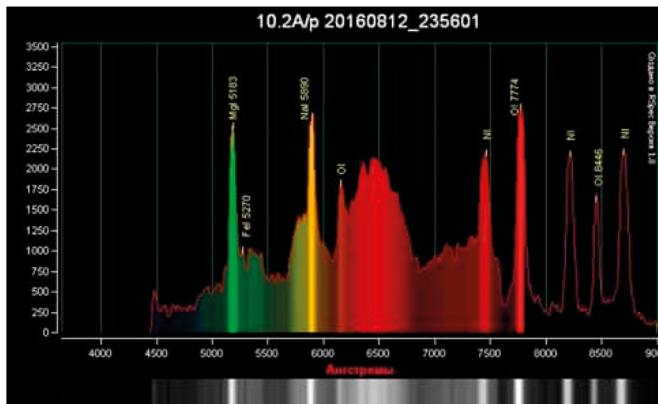


Figura 2. Representação gráfica de intensidade luminosa por comprimento de onda.

Estes gabaritos iniciais ajudaram a refinar as análises obtidas no Brasil. Alguns pesquisadores como o Engenheiro Carlos Di Pietro passaram a desenvolver os próprios padrões de distri-

buição das linhas espectrais de meteoros da Rede BRAMON. A Figura 3. mostra um típico padrão para meteoros. Com as proeminentes linhas de Fe e Ca e Na.

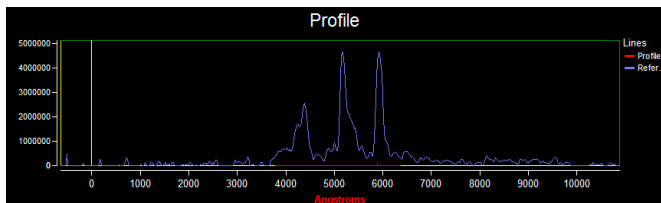


Figura 3. Gabarito espectral desenvolvido por Carlos Di Pietro.

O operador Vandson Guedes, de Rondonópolis – MT é integrante da BRAMON e possui alguns espectros de meteoros já registrados. O próprio operador faz suas análises espectrais e está alimentando o banco de dados da BRAMON e refinando novos gabaritos.

Uma das capturas obtidas por Vandson pode ser vista na Figura 4.



Figura 4. Único de frame de video mostra meteoro à esquerda e seu espectro

3. CONCLUSÕES

Estudos de emissão atômica, em sua maioria, ficam relegados a ambientes controlados de laboratórios, viemos através deste artigo, mostrar que é possível empreender estudos de análises de espectros de emissão atômica com equipamentos de baixo custo e contribuindo para a formação de histórico e banco de dados sobre a composição química parcial de meteoros.

Desde o mês de outubro de 2016, o observatório Otto de Alencar, na UECE – Universidade Estadual do Ceará, conta com uma estação BRAMON equipada com grade de difração. Isto estende o número de estações de monitoramento e de registro. Além de fomentar o uso de tais equipamentos como ferramenta pedagógica para o ensino de Física, Química, Matemática, Geografia, Astronomia, dentre outras Ciências.

O desafio é a popularização do sistema para que tenhamos maior cobertura do céu, elevando a velocidade de aquisição de dados e a eventual inserção de câmeras para utilização em escolas. Em Maranguape, temos uma experiência na Escola Estadual de Educação Profissional Salaberga Torquato Gomes de Matos, onde desde 2015, uma estação BRAMON foi instalada. A estação integra o currículo de Física. Mas para 2017, a expectativa é a instalação de uma grade de difração e o início dos estudos em Astroquímica.

REFERÊNCIAS

Jenniskens, P. **Quantitative Meteor Spectroscopy: Elemental Abundances**. Mountain View, California. The SETI Institute. Science Direct. Disponível em: www.sciencedirect.com

Millman, Peter M. Current trends in meteor spectroscopy. 1980. Disponível em: <http://www.cambridge.org/core/terms>. <http://dx.doi.org/10.1017/S1539299600005402>.

Encontro Nacional de Astronomia, 2015, Belo Horizonte. Belo Horizonte: FUMEC, 2015

RESUMOS SIMPLES

Ondas Gravitacionais, o caminho para o Big Bang

Vinicius Rodrigues Gomes de Freitas e Dennis Weaver de Medeiros Lima e
Sílvio Brito de Oliveira Júnior

RESUMO

Após a detecção das ondas gravitacionais, feita pelo LIGO (The Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), e previstas por Albert Einstein na teoria da relatividade geral em 1915, surgiu o questionamento sobre qual seria a utilidade dessa descoberta e qual a sua importância no desenvolvimento tecnológico da humanidade. A fim de sanar alguns desses questionamentos e entender melhor o papel das ondas gravitacionais, foram publicadas pesquisas em artigos do próprio laboratório LIGO e de físicos envolvidos no estudo. Em uma primeira abordagem, a detecção das ondas gravitacionais nos permitirá olhar para o passado, mas especificamente para o momento do Big Bang, pois as ondas gravitacionais surgiram antes da radiação quando houve o desacoplamento da força gravitacional e a quebra de simetria dada pela inflação cósmica. As ondas gravitacionais, viajando livremente através da matéria permitiriam que os pesquisadores observassem o universo através da dela, dado que o plasma que ocupava o Universo no início era opaco à radiação eletromagnética. A inflação cósmica teria gerado ondas gravitacionais que deixaram rastros na Radiação Cósmica de Fundo em Microondas (Cosmic microwave background). Para entender como a inflação pode produzir ondas gravitacionais existe como consequência da física quântica a concepção que o espaço não é de fato vazio. Pares de partículas virtuais podem surgir e se aniquilarem sem quebrar princípios termodinâmicos. Derivada da teoria, é esperado que as ondas gravitacionais tenham sua contrapartida em termos de partícula, o gráviton. Ele seria o portador previsto inclusive

para uma teoria que pretenda unificar a relatividade geral e a mecânica quântica. Com levantamento bibliográfico, o presente trabalho tem por objetivo apresentar de modo didático a busca pela detecção das ondas gravitacionais, o background teórico, como foram detectadas pelo experimento LIGO e quais impactos para a Física podemos esperar de imediato.

Palavras-chave: Ondas gravitacionais, LIGO, Detecção

Cosmologia Newtoniana

Marcos Bezerra Gomes e Rubbens Anttonio de Lima Vieira

RESUMO

A cosmologia tem como um de seus principais objetivos a elaboração de um modelo padrão que descreva os fenômenos astronômicos que ocorrem por todo o cosmo, algo que explique a dinâmica do universo. Quando falamos de distância entre estrelas, entre galáxias e também no movimento destes, temos em mente o seguinte: nas escalas em que estamos interessados, a teoria da relatividade geral de Albert Einstein é de grande importância, e a mais adequada caso queiramos uma maior precisão dos resultados, na obtenção de um modelo cosmológico. No entanto, neste trabalho faremos uso da física newtoniana para obter um conjunto de equações que descrevam a expansão de um universo, sendo este um caso particular de universo que satisfaz o princípio cosmológico. Por outro lado, é importante observar, além de ser algo bastante atraente, que estas equações quando manipuladas de uma forma apropriada e interpretada corretamente, nos fornecem resultados muito parecidos com os resultados fornecidos pelas equações relativísticas, que são um tanto menos simples que as referidas antes, ou seja, é mais simples obter um modelo fazendo uma análise newtoniana para certos casos particulares. Através de bibliografias apropriadas para tal estudo, extrairemos o necessário para apresentação de uma cosmologia newtoniana que foi proposta em 1934 por Milne e McCrea, um trabalho proposto anos depois da descoberta da recessão das galáxias por Edwin Hubble, do surgimento da relatividade geral e dos modelos cosmológicos propostos por Friedmann e Lemaître. Por fim, poderemos observar que tais resultados obtidos são de grande importância, pois modelam uma possível forma de evolução das galáxias.

Palavras-chave: Física Newtoniana; Modelos Cosmológicos; Princípio Cosmológico; Expansão do Universo.

Cosmologia uma História Pré-Científica

Rubbens Anttonio de Lima Vieira, Marcos Bezerra Gomes e
Alicia Sophia Farias de Souza

RESUMO

Neste breve estudo venho ressaltar a importância de estudar a história da cosmologia, sendo este estudo de caso e muito importante para o início do estudo da cosmologia. Cosmologia é a ciência que estuda a estrutura, a evolução do universo e sua forma de criação. A base da cosmologia foi à observação e os pensamentos filosóficos. Existem várias histórias de como o universo surgiu conhecido como mitos. Podemos dizer que mito é cosmologia pré-científica. Existiram vários povos que queriam explicar fenômenos físicos como sendo fenômenos divinos por isso criaram deuses para obter tais soluções. O Egito abrange várias referências para a criação do universo e tudo o que a nele. Sua história começou a 3500 a.C. com Narmer, unificador de dois povos um ao norte e outro ao sul, criou a linguagem escrita. Este povo acreditava em vários deuses para tudo tinha existência. Outro mito da criação é um registro de Enuma Elish, escrita em arcaico por volta de 2000 a.C.. Iniciou com em um caos líquido e após algum tempo surgiu Lahmu e Lahamu e iniciou vários deuses a partir deles. Na cosmologia Hindu é diferente, por ter quatro cosmogonias distintas. Esta cosmologia fala sobre ideias de expansões e contração do universo. Há dois momentos marcantes, dia e noite de Brahma No dia de Brahma o universo foi criado e em poucos instantes o universo era destruído por deus Shiva e começava a noite de Brahma. A cosmologia grega é uma das mais conhecidas em todo mundo. Os filósofos não referenciavam deuses para o que tinha existência, mas sim explicações lógicas. Neste trabalho trago como referência do livro Supernovas e Cosmologia de Antonio Manuel Alves Morais.

Palavras-chave: Cosmologia. História. Pré-científica.

Cerâmicas piezoelétricas: fonte alternativa de energia elétrica

Antonio Carlos Alencar Silva, Victória Santos das Neves, Lwzardy Antônio Freitas de Azevedo, Romário Souza Magalhães, Thaylane Caúla da Silva Martins, Alessando José Souza de Azevedo

RESUMO

Com o avanço tecnológico juntamente com a população e o crescimento industrial exigiu uma maior produção de energia. No entanto, não é fácil falar sobre o tema. Neste sentido, é importante discutir as fontes de energia renovável e limpa. Neste trabalho, destacamos o uso de cerâmicas piezoelétricas de PZT. Piezoeletricidade é a capacidade de produzir energia a partir de cristais dos seguintes grupos: cristais de quartzo, cristais, monocristais, hidrossolúveis, semicondutores piezoelétricos, cerâmicas, polímeros piezoelétricos e compósitos piezoelétricos. Antes de uma variedade de energias alternativas, cristais piezoelétricos têm sido broadering sua força como fonte de alternativas limpas de energia e espaço. Desde a descoberta da piezoeletricidade, ela tem sido usada em muitas aplicações comerciais, tais como sensores acústicos, câmeras, microscópios e relógios de quartzo, uma vez que tem grande importância em usos industriais. É importante salientar que a energia piezoelétrica vem do chão, o impacto dos pés ou rodas que irão mover nela. Sob pressão mecânica, a energia gerada pela vibração de certos materiais libera elétrons. É um tipo de energia mais fácil de ser obtido, então suffies o contato entre duas superfícies. Uma das vantagens da energia elétrica gerada a partir da pressão do fluxo de veículo é que ele não depende de fatores de clima, que podem ser uma desvantagem no caso de energia

eólica e solar. O sistema ambiental e o custo operacional também são levados em conta, desde que ele salva de grandes obras. Uma das maiores desvantagens é o seu armazenamento. Uma vez que é obtido, seu uso é instantâneo. Além disso, outro problema para a sua produção em nosso país é o seu elevado custo. A maioria dos materiais utilizados na produção de energia é importadas. Esta é uma deficiência que pesquisadores brasileiros tentaram fornecer um material completamente nacional. Indicamos esse tipo de objetivos energéticos, preservando a sustentabilidade do meio ambiente.

Palavras-chave: Piezoelectricidade. Energias renováveis. Tecnologia. Cerâmicas.

Um estudo sobre a radiação gravitacional emitida por um pulsar binário

Matheus Pinheiro Ramos e Roberto Vinhaes Maluf Cavalcante

RESUMO

No presente trabalho iremos apresentar um breve estudo sobre a radiação gravitacional emitida por um pulsar binário. Obteremos uma relação matemática que nos permite calcular a taxa de energia emitida via radiação gravitacional por sistemas binários em órbita circular. Por fim, aplicaremos a teoria desenvolvida nos dados observacionais da PSR 1913+16, também conhecida por binária de Hulse e Taylor, obtendo assim uma noção dos valores que cercam este tipo de evento e também do quão precisa é a teoria apresentada. A ideia de que a informação gravitacional pode se propagar é uma consequência direta da gravitação einsteiniana. Um dos postulados da teoria da relatividade especial (também presente na relatividade geral), é que nada pode ser mais rápido que a luz. Isto implica que a informação não pode ser transmitida instantaneamente como descreve a teoria de Newton, mas sim, deve levar um certo tempo. A esta propagação da informação damos o nome de radiação gravitacional, análoga a já conhecida radiação eletromagnética. Para fontes distantes (como os sistemas binários que estudaremos neste trabalho) esta radiação gravitacional oscila e a sua propagação se dá via distúrbios no espaço-tempo também oscilantes, os quais denominamos de ondas gravitacionais. A existência dessas ondas é certamente uma das previsões mais impactantes dessa nova teoria da gravitação. Matematicamente, as referidas ondas surgem naturalmente como soluções das equações de Einstein linearizadas. E de acordo com essas soluções, quaisquer distribuições de matéria que sofrem algum tipo variação temporal são fontes em potencial de radiação gravitacional. O estudo sobre tais ondas

se intensificou muito nos últimos meses devido a primeira detecção feita pelos observatórios do LIGO em um evento chamado de GW150914, que tratou da coalescência de um par de buracos negros.

Palavras-chave: Ondas gravitacionais. Radiação Gravitacional. LIGO. Binária de Hulse e Taylor

Equação de Difusão-Convecção no Contexto da Teoria de Horava-Lifshitz

Francisco Tiago Barboza Sampaio, Leonardo Tavares de Oliveira e Célio Rodrigues Muniz

RESUMO

Difusão é o processo ou efeito de difundir, espalhar ou propagar. A equação clássica da difusão (ECD) é uma equação em derivadas parciais que descreve o transporte de partículas microscópicas devido ao seu movimento balístico e às múltiplas e aleatórias colisões que sofrem com outras partículas do meio. A convecção é um processo físico de transporte de massa ou o movimento de um fluido devido a variações de densidade e de temperatura. A solução da ECD tem ampla aplicação em processos da natureza. Por outro lado, a solução da Equação de Difusão-Convecção Clássica se assemelha bastante à solução da ECD, sendo caracterizada a partir de uma função gaussiana. Porém, à escala de velocidades relativísticas, ou seja, em física de altas energias, presentes em inúmeros fenômenos nucleares, astrofísicos e cosmológicos, ainda não existe um consenso sobre a característica da equação de difusão, e muito menos sobre a equação de difusão-convecção. Vale destacar que a proposta e solução da equação relativística de difusão-convecção seria algo bastante inovador. O presente trabalho visa a proposição de uma equação relativística para o fenômeno da difusão-convecção a partir da sua forma clássica, substituindo-se o laplaciano pelo operador d'alambertiano e o tempo ordinário pelo tempo-próprio nas derivadas temporais, de modo a torná-la invariante de Lorentz. Soluções para a equação encontrada em uma dimensão espacial são estudadas. Modificações apropriadas na ordem das derivadas espaciais e temporais são também realizadas, de modo a fazer a mencionada equação aproximar-se da teoria de Horava-

-Lifshitz, surgida em 2009 como proposta alternativa para se compatibilizar uma teoria de gravidade geométrica com os princípios da mecânica quântica em altas energias. A equação assim modificada será, então, devidamente trabalhada em diversas aplicações, sendo a principal delas o cálculo da dimensão espectral do espaço-tempo em altas energias.

Palavras-chave: Difusão. Convecção. Horava-Lifshitz.

Uma experiência de modelagem em escala do Sistema Solar

João Romário Fernandes Filho

RESUMO

Este trabalho consiste num estudo de caso sobre uma experiência de interdisciplinaridade e aprendizagem ativa levada a efeito por parte do autor no âmbito de um curso livre de Introdução à Astronomia, ministrado entre os anos de 2012 e 2015, para jovens e crianças frequentadores do Lar Espírita Chico Xavier, instituição religiosa localizada no bairro Bom Jardim, em Fortaleza (CE). A experiência, que consistiu na elaboração de um sistema solar em escala, se dividiu em duas partes. Na primeira, buscou-se construir um modelo tridimensional, em que o Sol e os oito planetas do Sistema Solar eram representados em linha reta, dependurados ao longo de uma linha de madeira que faz parte da estrutura de cobertura do imóvel. A manutenção do modelo suspenso na linha, tendo-se revelado difícil ao longo do tempo, terminou por inspirar uma segunda empreitada. Desta vez, adotou-se uma modelagem bidimensional, com os objetos celestes colados ao longo das paredes internas do prédio principal do centro espírita. Empregou-se, em ambos os casos, por limitações de espaço disponível, duas escalas concomitantes, uma para os tamanhos dos objetos, outra para a distância entre eles. Toda a definição quanto às escalas adotadas, bem como quanto aos tamanhos e às distâncias com que os objetos celestes deveriam ser representados, foi fruto de cálculos feitos pelos próprios participantes. Coube também a eles a elaboração manual das réplicas dos objetos celestes, com base nos cálculos realizados. Buscou-se, por meio desse experimento, estimular nos educandos uma percepção mais apurada dos tamanhos e das escalas que caracterizam nossa vizinhança cósmica. Além disso, a astronomia serviu como elemento motivacional para o aprendizado e o exercício de

operações matemáticas simples, cujo domínio, por parte dos educandos, revelava-se abaixo das referências adotadas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais.

Palavras-chave: Ensino de Astronomia. Sistema Solar em Escala. Interdisciplinaridade. Aprendizagem Ativa.

Estudo dos Sólitons da Equação KdV Obtidos Através do Método do Espalhamento Inverso

José Emanuel Andrade dos Santos e Maria Daniela Leite de Souza

RESUMO

Teorias Clássicas de campos são usualmente descritas por sistemas de equações diferenciais parciais que fornecem a evolução de sistemas dinâmicos, definidos, em geral, por um problema de valor inicial. Situações de não linearidade da teoria são de grande interesse por descreverem uma variedade de fenômenos que ocorrem na natureza. Particularmente, a observação de um soliton, por J. S. Russel, em 1834, desencadeou uma série de estudos de fenômenos não lineares com aplicações, por exemplo, em moléculas de polietileno. Essencialmente, um soliton é uma solução de uma equação diferencial parcial não linear que representa uma onda solitária, de forma permanente, espacialmente localizada, que não obedece ao princípio da superposição e nem possui dispersão, possuindo velocidade maior que as ondas usuais. A equação não linear que descreve essa onda é a chamada KdV, formulada em 1985 por Korteweg e de Vries, também utilizada para descrever ondas íon-acústicas no plasma, ondas longitudinais dispersivas em materiais elásticos, dentre outras. Assim, o presente trabalho tem como principal objetivo investigar as soluções solitônicas da equação KdV e discutir suas implicações. Iniciamos por fazer uma análise de um caso particular dessa equação, definindo as condições de contorno e utilizando o método do espalhamento inverso para chegar às soluções. Em seguida, encontramos as quantidades conservadas que garantem a integrabilidade do modelo, dada a lagrangeana de KdV. Além disso, encontramos os limites assintóticos que representam uma superposição de n -sólitons propagantes numa mesma direção utilizando o método de Hirota para o caso 2 e n sólitons. Com uma análise das simetrias e suas respectivas quantidades conservadas encontramos que existe um número infinito de quantidades localmente conservadas.

Palavras-chave: Sólitons. Não linearidade. Equação KdV.

Buracos Negros e Radiação Hawking

Débora Aguiar Gomes e Carlos Alberto Santos de Almeida

RESUMO

A primeira referência a buraco negro foi feita por John Michell no final do século XVIII quando ele sugeriu a existência de estrelas tão massivas e compactas que nem mesmo a luz poderia escapar de seu campo gravitacional. Na época, ele as batizou de estrelas escuras. Esses foram os objetos que mais tarde receberiam o nome de buracos negros, termo que foi cunhado por John Wheeler em 1969. Ao tentar escapar do buraco negro, a luz é atraída de volta pelo intenso campo gravitacional. A região do espaço-tempo que limita as trajetórias dos raios de luz que não conseguem escapar é chamada de horizonte de eventos. O horizonte de eventos de um buraco negro é portanto um ponto de não-retorno. Porém, sob a ótica da mecânica quântica, os buracos negros não são tão negros assim. Ou seja, haveria algum tipo de emissão de radiação associada a eles. Isso porque devido à flutuações do vácuo, pares de partículas virtuais podem aparecer e logo após se aniquilar mutuamente. Porém, antes da aniquilação, uma das partículas de um par que esteja próximo ao um buraco negro, pode eventualmente cair nele enquanto a outra permanece livre. Essas partículas livres seriam a radiação proveniente do buraco negro. De fato, em 1974 Stephen Hawking provou matematicamente a existência dessa radiação, conhecida como Radiação Hawking. Nesse trabalho, revisamos brevemente os conceitos relacionados à teoria dos buracos negros e a radiação de Hawking. Nosso interesse é aplicar a chamada violação da simetria de Lorentz a esse contexto. A expectativa é de que nosso trabalho possa trazer interessantes contribuições da violação de Lorentz no contexto da radiação de Hawking.

Palavras-chave: Buracos Negros. Radiação Hawking. Violação de Lorentz.

Solução Polinomial da Equação De Schrödinger com Massa Dependente da Posição para O Potencial de Poschl-Teller

Allan Ranieri Pereira Moreira , Carla Jamile Melo Fernandes,
Francisco Cleiton Estevão de Lima, Mikelle Viviane Ribeiro de
Sousa e Marcony Silva Cunha

RESUMO

Neste trabalho, resolvemos analiticamente a equação de Schrödinger para a massa dependente da posição com perfil solitônico deformável proporcional à secante hiperbólica ao quadrado, para um caso particular do ordenamento de von Roos, a saber, o ordenamento de Ben-Daniel-Duke, para o conhecido potencial de Poschl-Teller. Utilizamos transformações nas variáveis dependente e independente a fim de chegarmos em uma equação diferencial homogênea com coeficientes polinomiais. Utilizamos então o método de solução tentativa ou *ansatz* de Bethe, associado com o método dos resíduos, para encontrar a equação de Bethe que determina relações entre os parâmetros do potencial de Poschl-Teller e grandezas físicas relevantes do problema. Através dessas relações entre os parâmetros, chegamos a uma solução polinomial exata de grau n para a função de onda do problema, além de uma equação que determina os autovalores correspondentes. Como caso particular, calculamos explicitamente as funções de onda e os autovalores de energia correspondentes para o estado fundamental e para o primeiro estado excitado. Adicionalmente, mostramos que as soluções desse problema também podem ser escritas em uma forma analítica fechada exata, para valores particulares dos parâmetros do potencial de Poschl-Teller, em termos das funções confluentes de Heun. Através de uma expansão em

série das funções de Heun, calculamos também a energia do estado fundamental e do primeiro estado excitado, e mostramos que o método de solução tentativa de Bethe possui boa concordância com os valores determinados pela expansão em série das soluções de Heun. Finalmente, apresentamos graficamente as funções de onda associadas a esses casos particulares.

Palavras-chave: Potencial de Poschl-Teller. Massa dependente da posição. Método do ansatz de Bethe.

Luneta de Galileu com materiais de baixo custo

Lwzardy Antônio Freitas de Azevedo, Victória Santos das Neves, Romário Souza Magalhães, Thaylane Caúla da Silva Martins, Alessando José Souza de Azevedo e Antonio Carlos Alencar Silva

RESUMO

O presente trabalho trata-se de uma luneta, semelhante à de Galileu, de baixo custo de produção, feita de canos – tubulações hidráulicas residenciais - e lentes convergentes de um binóculo e de um monóculo, modelos antigos de olhar o negativo de fotografias. É sabido que este instrumento recebe o nome de Galileu visto que foi esse seu inventor, vale salientar que a imagem formada é invertida e pequena, mas existem vantagens que são o bom rendimento para visualizar imagens na Terra e o fácil transporte, diferente da luneta de Keppler, no entanto, a desvantagem é o baixo alcance de visualização de outros astros. Com base nisso, foi feita uma luneta simples na busca de saber mais sobre a fabricação de instrumentos ópticos com materiais recicláveis com a finalidade de fornecer meios baratos para dar aulas de física e possibilitar a integração de pessoas alheias ao estudo dessa ciência e, além disso, colaborar com a observação e entender sobre os astros e sobre a importância das lentes ao longo dos séculos. O trabalho tem caráter experimental, visto que foram realizadas várias tentativas para ajustar as lentes e calcular o foco, mas vale ressaltar que se pode mudar e melhorar o instrumento para que ele fique cada vez melhor. Uma de suas vantagens é a montagem simplória já que o material utilizado se compõe de luvas, de dois canos de 40 e 50 milímetros, uma redução de 40-32 milímetros, de um *cap* de 50mm para transporte da luneta, massa *durepox* para fixar o monóculo na redução, fita dupla face para diminuir a folga de um cano para o outro e tinta spray preto fosco para pintar dentro dos canos. Além de sua montagem ser experimental, seu uso, também, tem o mesmo caráter pois pode ser útil nas aulas de lentes, cálculo de foco e, ainda, estudo geográfico.

Palavras-chave: Luneta caseira. Materiais de Baixo Custo.

SESSÃO 3

ENSINO DE FÍSICA E ASTRONOMIA

ARTIGOS

O uso do Mathematica como ferramenta pedagógica para o ensino de gravitação

Francisco Halyson Ferreira Gomes, Ewerton Wagner Santos Caetano e
Francisco Régis Vieira Alves

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo relatar caracterizar o uso do Mathematica como ferramenta pedagógica para o ensino de Gravitação. A escolha de desenvolver um projeto de pesquisa utilizando instrumentos tecnológicos digitais partiu da percepção das mudanças que a sociedade contemporânea vem passando nos últimos anos. Dentre essas modificações podemos citar o uso do computador, cada vez mais precoce, em atividades cotidianas das pessoas. Assim constrói-se a questão norteadora deste trabalho: de que forma o software Mathematica pode ser metodologicamente explorado a fim de proporcionar a mobilização de conhecimentos dos estudantes do que concerne ao conteúdo de Gravitação? Realizamos uma pesquisa bibliográfica, seguindo o método de Gil (2002) a fim de levantar documentos sobre as funcionalidades do Mathematica e sobre a utilização do software em diferentes situações de ensino. Como resultados apresentamos como o computador pode ser utilizado como ferramenta pedagógica para o ensino de Física e o papel do professor na escolha certa da metodologias para o uso de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs). Em seguida abordaremos o ensino de Gravitação e como seus conteúdos são importantes para a formação de uma rede conhecimentos integrada. Relataremos algumas experiências, que possam revelar o potencial pedagógico do software Mathematica em duas situações: construção de modelos físicos e resolução de problemas matemáticos. E por fim apresentamos um modelo de como utilizar algumas ferramentas do Mathematica para resolver e compreender problemas de Gravitação.

Palavras-chave: Ensino de Gravitação. Mathematica. Aprendizagem significativa.

1. INTRODUÇÃO

O computador está presente em muitos lares, auxiliando as pessoas nas mais diferentes tarefas do cotidiano. A escola, como espaço de formação de pessoas, não poderia ficar fora da utilização dessa tecnologia. O computador pode ser utilizado de diferentes formas e em diferentes disciplinas, seja numa abordagem mais tradicional, no qual a máquina ensina o aluno ou numa abordagem mais dinâmica, denominada construcionista, no qual o aluno ensina o computador.

O professor ao incluir o computador na sua metodologia de ensino precisa ter em mente quais o objetivo quer alcançar e quais os caminhos pretende trilhar para isso. Existe uma quantidade enorme de possibilidades do uso do computador, dentre elas, uso de ambientes virtuais de aprendizagem, simulações computacionais, desenvolvimento de pesquisas na rede mundial de computadores e a utilização de softwares para fins específicos.

Dentre os softwares que podem ser utilizados para auxiliar no ensino de Física citamos o Mathematica. Ele é classificado como um sistema de álgebra computacional, no qual é possível trabalhar tanto de forma numérica quanto de forma simbólica. No Mathematica o aluno tem a oportunidade de construir, utilizando uma linguagem própria, modelos matemáticos que dificilmente poderiam ser desenhados utilizando formas tradicionais de ensino e aprendizagem, como por exemplo, o livro didático.

O principal objetivo desse trabalho é revelar características do Mathematica que o fazem ser um software adequado para o ensino de gravitação. Para isso nos concentramos numa pesquisa bibliográfica, a fim de levantar documentos sobre as funcionalidades do Mathematica e como suas ferramentas podem ser úteis para a modelagem de modelos gravitacionais.

Procuramos evidências, nos textos analisados, para corroborar a hipótese de que o uso do computador e mais especificamente a utilização do software Mathematica pode ser útil na construção de conhecimentos. Seria uma atitude precipitada de nossa parte concluir que o Mathematica, por si só, é a solução para todos os problemas no entendimento de fenômenos físicos. Entretanto ao proporcionar ao aluno uma aproximação com o fenômeno estudado, o software favorece a construção de modelos particulares e facilita a interpretação e resolução de problemas.

2. METODOLOGIA

Seguimos a metodologia de Gil (2002) quanto aos passos para realizar uma pesquisa bibliográfica: (a) a escolha do tema partiu, além do nosso interesse pessoal em pesquisar sobre tecnologias no ensino de Física, por identificar no Mathematica potencial pedagógico para uma aprendizagem significativa, visto ser dentre os CASs um programa com grande possibilidades de trabalho, dentre elas, a facilitação de operações matemáticas complexas e a visualização de fenômenos físicos por meio de sua sofisticada interface gráfica; (b) o estudo exploratório preliminar foi realizado em fontes documentais, tais como livros, teses, dissertações, manuais, dentre outros; (c) nossa questão de trabalho ficou em torno da pergunta: de que forma o Mathematica vem sendo utilizado como ferramenta pedagógica? (d) o plano de trabalho foi dividido em três itens, as bases da aprendizagem significativa, evidências do uso do Mathematica no meio acadêmico e o as principais funcionalidades do programa; (e) seleção do material da pesquisa preliminar, a fim de identificar quais as fontes bibliográficas melhor se adequariam; (f) após a seleção foi realizada uma leitura analítica do material com a finalidade de

ordenar e sintetizar as informações, sempre pensando em obter respostas para o problema do trabalho; (g) e finalmente a construção do trabalho.

3. ANÁLISE E DISCUSÃO

3.1 O uso do computador no ensino de Física

A Lei de Diretrizes e Bases de 1996 e os Parâmetros Curriculares Nacionais de 2002 trouxeram inovações importantes para a educação brasileira. A legislação educacional brasileira passou a considerar a sala de aula como um espaço de construção do conhecimento e não somente um lugar para transmissão de conteúdo. O professor passa a atuar como um regente, um tutor, um provocador de ideias para que o aluno possa desenvolver competências e habilidades necessárias para seu crescimento cognitivo. Num ambiente escolar que adote o computador nas práticas pedagógicas o aluno pode ser mais ativo, tendo a liberdade para construir seu conhecimento de forma significativa (LUCENA; FUKS, 2000).

Ao seguir uma metodologia de ensino que insira o uso do computador e da internet como ferramentas pedagógicas, o professor precisa estar atento para o papel que essas tecnologias terão dentro do seu planejamento escolar. É preciso planejar com cuidado qual o melhor momento de utilizá-las, como conduzir a aula de forma eficiente e decidir sobre a melhor estratégia para avaliar a aprendizagem. Como a Física pode se beneficiar do uso do computador?

Bem, frequentemente a Física é apresentada como uma série de equações prontas, com as quais o aluno opera sem lhes dar sentido ou fazer qualquer relação com o seu cotidiano. Sem efetuar a relação entre teoria e fenômeno o aluno acaba por

considerar o assunto apresentado como algo totalmente novo e sem sentido (KRUMMENAUER; PASQUALETTO; COSTA, 2009). E é nesse cenário que o computador encontra um terreno fértil, uma vez que pode desmitificar o senso de que a Física é uma disciplina impossível de ser aprendida no qual os alunos nunca farão uso após concluírem seu período na escola.

Para Vrankar apud Medeiros e Medeiros (2002) o uso de ferramentas computacionais pode favorecer o desenvolvimento do pensamento lógico, bastante exigido em Física. Além disso, as diferentes ferramentas podem tornar mais reais, isto é, entendíveis, fenômenos físicos ora reconhecidos somente de forma abstrata, pode também facilitar a resolução de equações mais complexas, além de permitir a elaboração de gráficos, entre outros.

Uma das ferramentas que pode ser utilizada para favorecer um ensino de Física mais dinâmico e uma melhor aprendizagem são softwares que auxiliem na construção de modelos que facilitem o entendimento de fenômenos.

3.2. Abordagens sobre o ensino de gravitação

O campo de estudo da Física é muito amplo, seja na escola ou na universidade a Física é dividida em matérias ou disciplinas que muitas vezes não interagem. Outras vezes assuntos físicos são arrancados de seu contexto histórico e social e são apresentados ao aluno como algo acabado, por exemplo, a mecânica de Newton, muitas vezes é apresentada como algo daquele momento e não como um processo que durou cerca de dois séculos. Porto e Porto (2008) defendem a ideia que a Física deve ser a ponte de aproximação do aluno com o mundo moderno. É papel do pro-

fessor levar o aluno a fazer relações com outras ciências e utilizar diferentes expressões para se expressar.

Florczak e Freitas (2011) colocam a gravitação como um dos assuntos chave para fazer essa ponte entre o mundo real e o mundo científico. Segundo os autores a astronomia desperta o interesse do aluno para outras áreas do conhecimento, além de ser um estímulo para reflexões críticas. Contudo eles destacam que por ser uma área que exige a resolução de uma grande quantidade de exercícios abstratos, cabe ao professor selecionar de forma adequada os métodos de ensino que facilitem o entendimento dos conceitos.

Nesse processo de entendimento de fenômenos abstratos, envolvendo os assuntos da Gravitação, Amaral (2015) cita que a inclusão de atividades supervisionadas torna o processo de abstração mais efetivo, de forma que os alunos possam adquirir competências e para resolver problemas lógicos e melhorar o pensamento científico. Como justifica para se abordar os conteúdos de Gravitação em sala de aula Amaral (2015) cita: A diversidade de problemas oferece contato com atividades e habilidades úteis em todos os ramos do saber e do cotidiano da ciência; oferece visão global sobre o desenvolvimento do pensamento humano; oferece ao aluno observar o surgimento e modificação de modelos; Não envolve material de alto custo e oferece a oportunidade de atividades ao ar livre.

Uma das estratégias que podem ser utilizadas para ajudar na construção de conhecimentos em gravitação é o uso de Tecnologias digitais. Pires e Veit (2006) nos falam que as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) visam ampliar a interação entre aluno e professor; com isso aumentar o tempo de aula, além de ser um estímulo para a discussão e tomada de decisões do aluno.

3.3 Características do Mathematica

O Mathematica é um software da classe dos Computer Algebra System (CAS), em português algo como Sistema de Álgebra Computacional. Nesse texto iremos usar a sigla CAS por esta já ser comumente usada para descrever tal ferramenta. Um CAS tem como características ser um sistema que oportuniza a execução de um grande número de algoritmos além da manipulação simbólica de conceitos matemáticos e a utilização de uma linguagem própria de programação.

Um CAS é um programa que busca facilitar o cálculo em matemática simbólica, ou seja, através de um CAS, é possível calcular com a mesma formalidade do cálculo no papel, seguindo-se as mesmas regras, e, nos CASs mais modernos, utilizando-se das mesmas notações (FALCETTA, 2006).

Um ambiente de modelagem como o Mathematica pode, segundo Souza e Santo (2010), favorecer o ensino de qualquer disciplina da área de Ciências da Natureza. Em um ambiente de modelagem é possível utilizar vários recursos didáticos, dentre eles, a experimentação, problemas contextualizados e simulações computacionais. Kajler e Soiffer apud Guyer (2008) afirmam em seus estudos sobre a viabilidade do uso do Mathematica no ensino é a aproximação das saídas do programa com os livros texto, além de permitirem o uso de números racionais e irracionais.

Conforme Wolfran (2003) é possível realizar cálculos tanto numéricos quanto simbólicos no Mathematica. Dessa forma a pessoa que fizer uso do programa terá a oportunidade de operar tanto expressões algébricas quanto numéricas. A título de conhecimento no Mathematica é possível trabalhar desde operações mais simples, tais como soma, produto a operações mais com-

plexas tais como transformada de Fourier, isto confere ao Mathematica uma credibilidade bastante considerável no quesito da modelagem matemática.

Fazer com que o aluno entenda certos fenômenos físicos é muito importante para o desenvolvimento de suas habilidades como estudante de Física. Nas próximas duas seções iremos mostrar o uso do software Mathematica em situações distintas, a primeira quando aplicado para diminuir a abstração de um fenômeno físico muito comum no cotidiano das pessoas, o som, e o outro quando utilizado na resolução de problemas matemáticos. Ao mostrar como esses autores utilizaram o Mathematica em suas atividades em sala de aula, pretendemos revelar exemplos de utilização e pontos importantes, sejam eles positivos ou negativos, quanto ao uso do software.

Apresentamos o trabalho conduzido por Silveira (1998) na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). Embora em seu trabalho Silveira não tenha trabalhado diretamente com problemas da Física, será de excelente ajuda para entender como se deu o uso do programa, qual a receptividade dos alunos e quais os pontos positivos e negativos da utilização de tal metodologia de ensino.

Uma das atividades aplicadas por Silveira (1998) pedia que os alunos construíssem o gráfico da função $f(x) = x^{10} - x^9 + 8x^7 - 45$. Utilizando o comando Plot, conforme em (1), os alunos obtiveram do programa o gráfico apresentado na Figura 1. Os mesmos teriam que também fazer uma análise do comportamento do gráfico.

Plot[x^10-x^9+8*x^7-45, {x,-4,4}] (1)

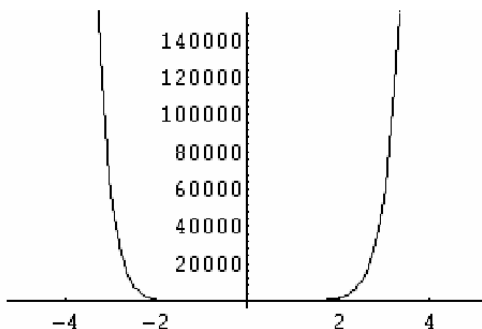


Figura 1. Gráfico obtido no Mathematica para a função $f(x) = x^{10} - x^9 + 8x^7 - 45$.
Fonte (Silveira, 1998)

Após a utilização do Mathematica, Silveira (1998) fez um levantamento do sucesso dos alunos numa disciplina do curso de Licenciatura em Matemática, no qual os assuntos trabalhados durante a pesquisa eram utilizados. Foi constatado que a maioria dos alunos, aprovados, tinham participado dos encontros. No qual é possível concluir que a utilização do computador e do Mathematica foi importante na promoção de uma aprendizagem para esses alunos. Além disso Silveira (1998) nos relata outros pontos de destaque sobre o uso do Mathematica:

- Domínio das funções do computador

Constatou-se por meio de questionário que a maioria dos alunos envolvidos na pesquisa dominava o uso do computador e fazia uso da máquina em atividades do cotidiano. Tal conclusão é importante para o andamento das atividades, uma vez que o uso do Mathematica requer do usuário uma certa habilidade em

ferramentas computacionais, por envolver a utilização de uma linguagem própria de programação e caminhos não triviais para operação da máquina, ou seja, utilizar o Mathematica não é algo tão intuitivo quanto o uso da internet.

- Falta de conhecimento em matemática

O computador é uma ferramenta, embora os softwares existam para ajudar o usuário na resolução de problemas, inclusive o Mathematica, é preciso alimentá-los com informações corretas, ou seja, a entrada de informações precisa estar de acordo, tanto conceitualmente quanto na linguagem requerida pelo programa, pra que a saída da informação esteja correta.

Esse fato demonstra que o computador e o Mathematica podem auxiliar na resolução e entendimento de problemas, entretanto é preciso ter uma base conhecimentos prévios consolidados para que os resultados sejam obtidos e interpretados da forma correta. Para que isso aconteça de forma satisfatória um bom planejamento das atividades didáticas e a presença do professor em todas as práticas foi essencial para promover a discussão e assim construir o conhecimento de forma satisfatória.

- Uso de linguagem de programação

O uso do Mathematica, além de habilidades do uso da máquina, requer conhecimento da linguagem própria do software, por exemplo, para desenhar o gráfico de uma função $f(x)$ qualquer é preciso usar o comando Plot , sem essa instrução o Mathematica nada fará. E por ser algo novo, alguns alunos demonstraram dificuldade em certas operações. Os erros podem acontecer por dois motivos principais, ou o aluno utiliza uma sintaxe errada e o programa não reconhece o comando e dessa forma não o executa ou o usuário utiliza a sintaxe correta mas comete erros

na escrita da função, por exemplo, utiliza os parênteses, que tem a função de atribuir hierarquia nos termos, de forma incorreta. Nesse caso, o Mathematica irá gerar o que o comando requer, mas estará em desacordo com a matemática, exigindo do aluno conhecimento prévio sobre o que está sendo trabalhado para que ele detecte o erro e possa corrigi-lo.

3.4. O Mathematica e o ensino de Gravitação

Que características ou que ferramentas tornam o Mathematica um software que pode ser utilizado para resolver problemas de Gravitação? Conforme constato por Silveira (1998) o suporte para a resolução de problemas matemáticos complexos e a possibilidade de visualização gráfica de funções já tornaria o Mathematica um instrumento poderoso para facilitar o ensino de Física.

Mostraremos a seguir um exemplo de como o Mathematica pode ser utilizado para trabalhar assuntos de Gravitação. Tal exemplo é inspirado em Hassini (>>>>), que discute o problema gravitacional envolvendo três corpos. Segundo Prazeres (2010) a Lei da Gravitação Universal de Newton passou a ser testada em diferentes casos a fim de verificar sua legitimidade. Para interações entre dois corpos, tal lei poderia ser utilizada sem grandes problemas, entretanto o mesmo não acontecia envolvendo n corpos, tal situação ficou comumente conhecida como problema dos três corpos.

A dificuldade do problema dos três corpos segundo Prazeres (2010) não está no enunciado, que é simples de compreender, mas está no fato de não ser possível encontrar uma solução exata para a posição do terceiro corpo. Poincaré foi segundo Prazeres (2010) um dos cientistas que se dedicou ao entendimento de tão fato, em seu estudo ele se deparou com um sistema muito com-

plexo de órbitas, chamado por ele de órbitas homoclínicas, termo utilizado hoje para caracterizar sistemas caóticos. Mas como o Mathematica pode ser útil para a resolução e entendimento deste problema?

Segundo Prazeres (2010) se considerarmos as massas m_1 , m_2 e m_3 e que m_1 está na posição x_1 , y_1 e z_1 , a distância entre os centros de m_i e m_j como r_{ij} e k^2 uma constante que depende das unidades utilizadas e tomando as equações da 2ª Lei de Newton e da Lei da Gravitação Universal temos que, Figura 2:

Figura 2. Equação diferencial para o problema dos três corpos. Fonte: Prazeres (2010)

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} = -k^2 m_1 m_2 \frac{(x_1 - x_2)}{(r_{12})^3} - k^2 m_1 m_3 \frac{(x_1 - x_3)}{(r_{13})^3}$$

As equações gerais para o problema dos três corpos são, Figura 3:

Figura 3. Equações gerais para o problema dos três corpos. Fonte: Prazeres (2010)

$$\left\{ \begin{array}{l} m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} = -k^2 m_i \sum_{j=1}^3 m_j \frac{(x_i - x_j)}{(r_{ij})^3} \\ m_i \frac{d^2 y_i}{dt^2} = -k^2 m_i \sum_{j=1}^3 m_j \frac{(y_i - y_j)}{(r_{ij})^3} \\ m_i \frac{d^2 z_i}{dt^2} = -k^2 m_i \sum_{j=1}^3 m_j \frac{(z_i - z_j)}{(r_{ij})^3} \end{array} \right.$$

Segundo Prazeres (2010) a solução para desse problema depende da integração de um sistema composto por nove equações diferenciais de segunda ordem. Não é nossa intenção fazer essa demonstração, mas não é difícil perceber o quão complexo é essa tarefa. Escrevendo os comando certos e utilizando corretamente os conceitos físicos e matemáticos o Mathematica então tem a tarefa de resolver esse problema, com a possibilidade de mostrar ao aluno a órbita dos corpos envolvidos por meio de suas ferramentas gráficas.

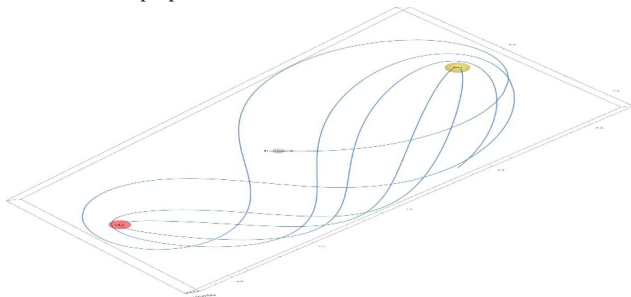
Nas Figura 4, Figura 5 e Figura 6 apresentamos algumas linhas de código, escritas no Mathematica, para a solução deste problema. Na Figura 4 temos a equação que define o movimento.

Figura 4. Equação diferencial que define o movimento dos três corpo. Fonte: próprio autor

```
orbit = ParametricPlot3D[Evaluate[{x[t], y[t], z[t]} /. s], {t, 0, 8000}, PlotPoints -> 400];
stars = {Graphics3D[{Yellow, Sphere[{0, 0, 0}, 0.04]}], Graphics3D[{Red, Sphere[{2.0, 0, 0}, 0.04]}]};
```

Na Figura 5, temos o comando NDSolve, que segundo Wolfran (2003) pode ser utilizando quando se deseja o valor numérico de uma equação diferencial.

Figura 5. Comando para resolução de uma equação diferencial utilizando o Mathematica. Fonte: próprio autor



Na Figura 6 temos os comandos ParametricPlot3D e Graphics3D, que são linhas de código gráfico do Mathematica, o primeiro desenha um gráfico em três dimensões de uma função parametrizada e o segundo desenha figuras, nesse caso esferas, que representam os corpos celestes envolvidos no problema.

Figura 6. Comandos do Mathematica. Fonte: próprio autor

```
s = NDSolve[neqs, {x, y, z}, {t, 8000}];
```

Como não é nosso objetivo resolver o problema dos três corpos e sim mostrar como as ferramentas do Mathematica podem ser úteis, tanto para a resolução matemática como para a visualização gráfica, suprimimos algumas linhas de código e apresentamos a Figura 7 que representa a órbita de um planeta em torno de duas estrelas.

Figura 7. Representação da órbita de um planeta em torno de duas estrelas utilizando o Mathematica. Fonte: próprio autor

$$\begin{aligned}
 \text{orb} = & \left\{ \left(\frac{M2 (-R + x[t])}{((R - x[t])^2 + y[t]^2 + z[t]^2)^{3/2}} + \frac{M1 x[t]}{(x[t]^2 + y[t]^2 + z[t]^2)^{3/2}} \right) + x''[t] = 0 \left(\frac{M2 y[t]}{((R - x[t])^2 + y[t]^2 + z[t]^2)^{3/2}} + \frac{M1 y[t]}{(x[t]^2 + y[t]^2 + z[t]^2)^{3/2}} \right) + y''[t] = \right. \\
 & \left. 0 \left(\frac{M2 z[t]}{((R - x[t])^2 + y[t]^2 + z[t]^2)^{3/2}} + \frac{M1 z[t]}{(x[t]^2 + y[t]^2 + z[t]^2)^{3/2}} \right) + z''[t] = 0, x[0] = x0, y[0] = y0, z[0] = z0, x'[0] = vx0, y'[0] = vy0, z'[0] = vz0 \right\};
 \end{aligned}$$

4. CONCLUSÕES

O uso do computador e da internet faz parte do cotidiano de muitas pessoas, principalmente entre os jovens em idade escolar. Os avanços tecnológicos que serviram para aprimorar os sistemas computacionais e que foram importantes para o surgimento da internet consolidaram esses dois equipamentos nas relações sociais. As possibilidades de uso dessas tecnologias são inúmeras, destacam-se o uso na comunicação e na produção de material de apoio pedagógico.

Quando é feita uma interação entre o uso do computador e o ensino é possível constatar que o uso tal tecnologia pode ser um fator importante para levar o aluno a construir conhecimentos de forma significativa. Ao incluir o computador e a internet nas práticas pedagógicas o professor poderá suprir a necessidade dos jovens em utilizar ferramentas que auxiliem o ensino e a aprendizagem de forma mais dinâmica e interativa. Ao seguir a teoria construcionista, que trata o computador como uma ferramenta de ensino, o aluno fará uso de suas funcionalidades para arquitetar ideias e assim desenvolver competências e habilidades inerentes a fase escolar na qual ele se encontra.

Mesmo que o uso de ferramentas tecnológicas seja importante e tornem o ensino e a aprendizagem tarefas mais dinâmicas e aprazíveis, alguns alunos podem sentir dificuldades na realização de atividades propostas, o que requer do professor uma atenção especial para suprir as necessidades dos alunos, tanto na parte operacional do computador e do software quanto em termos teóricos dos assuntos trabalhados. Utilizar o Mathematica pode não ser uma tarefa tão simples para alguns alunos, o que pode requerer do professor uma atenção especial na preparação de material ou de encontros para suprir essa necessidade.

Embora os textos estudados não apresentem parâmetros suficientes para medir um aumento na proficiência nas competências e habilidades dos alunos, percebe-se, pelos relatos dos pesquisadores que os alunos se satisfizeram ao utilizar o Mathematica. Como pontos positivos da utilização do programa estão a compreensão de fenômenos físicos e matemáticos de alta complexidade, fatores importante para o ensino de Gravitação. A resolução de problemas, que se feitas de forma tradicional, demandaria muito tempo e desgaste do aluno, de forma bastante rápida e confiável.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Denise de Souza. **Estudo de uma sequência didática na perspectiva de Ausubel para alunos do sexto ano do ensino fundamental sobre astronomia**. 2015. 164f. Dissertação (Mestrado em educação matemática e ensino de física) - Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2015

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília: Presidência da República, 1996.

FALCETTA, Felipe Antônio Marques. **Tutorial Mathematica v 5.0 para Windows**. Campinas: UNICAMP, 2006

FLORCZAK, Marcos Antonio; FREITAS, Mario Sérgio Teixeira de. O ensino de Gravitação nos cursos de graduação em engenharia e licenciatura em física da UTFPR. **Anais I Simpósio Nacional de Educação em Astronomia**, Rio de Janeiro, 2011

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**, 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 f.

GUYER, T. Computer algebra systems as the mathematics teaching toll. **World Applied Sciences Journal**, v. 3, n.1, p. 1332-139, 2008

HASSANI, Sadri. **Mathematical Methods Using Mathematica®**: For Students of Physics and Related Fields. New York: Springer, 2003. 239 p.

KRUMMENAUER, W. L.; PASQUALETTO, T. I.; COSTA, S. S. C. da. O uso de instrumentos musicais como ferramenta motivadora para o ensino de acústica no ensino médio. **Física na escola**, v. 10, p. 22_24, 2009.

LUCENA, C.; FUKS, H. **A educação na era da Internet**. Rio de Janeiro: Clube do futuro, 2000. 160 p.

MEC. **PCN + Ensino Médio**: Orientações complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais . Brasília: SEMTEC, 2002. 144 p.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 77_85, Junho 2002.

PIRES, Marcelo Antonio; VEIT, Eliane Angela. Tecnologias da Informação e comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de Física no ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, p. 241 - 248, (2006)

PORTO, C.M.; PORTO, M.B.D.S.M. A evolução do pensamento cosmológico e o nascimento da ciência moderna. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 4, 2008

PRAZERES, Roberta Fonseca dos. **Métodos clássicos e qualitativos no estudo do problema dos três corpos**. 2010. 123f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Matemática) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010

SILVEIRA, Francisco Alberto Rheingantz. **Utilização do Mathematica como ferramenta de apoio ao ensino de Matemática**. 1998. 129f. Dissertação (Mestrado em Informática) – Pontifícia Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998

SOUZA, Ednilson Sérgio Ramalho de; SANTO, Adilson Oliveira do Espírito. Modelagem Matemática no ensino de Física recursos didático-pedagógicos. **Anais Encontro Paraense de Educação Matemática**, 7., 2010, Belém

WOLFRAM, Stephen. **Mathematica book**, 5. ed. Champaign: Wolfram Media, 2003

Teoria da relatividade restrita e experimento de michelson-morley: qual a relação entre a teoria e o experimento?

Christian Gama Cavalcante; Marcos Haroldo Dantas Norões e
Mairton Cavalcante Romeu

RESUMO

Em nome da transposição didática, alguns livros abordam certos assuntos de Física em forma de causos ou estórias sob a justificativa de favorecer o entendimento de conceitos científicos. Se por um lado, têm-se atingido os objetivos didáticos dessas práticas, por um outro, têm-se pouca fidedignidade com o episódio histórico abordado. Fato que pode levar a incongruências científicas. Diante do cenário de famigerado uso desses recursos didáticos estóricos, esse trabalho visa apresentar uma discussão acerca das verdadeiras motivações que levaram Albert Einstein à Teoria da Relatividade Restrita (TRR), sob o embase de teóricos, registros históricos e biográficos do autor. Dentre o escopo desses recursos, é recorrente encontrar tanto em livros-texto do ensino superior, quanto em livros didáticos do ensino médio, menções que ligam a TRR ao experimento de Michelson-Morley (EMM). Tal experimento pretendia confirmar a existência de um meio material sutil através do qual a luz e as demais ondas eletromagnéticas se propagavam. A não detecção desse meio pouco representava em termos experimentais, mas indicava que a concepção mecanicista e newtoniana do universo precisaria ser reformulada. Para evitar discursos equivocados em sala de aula, e até mesmo para suscitar uma revisão em materiais didáticos que trazem a questão, apresenta-se nesse trabalho um compêndio teórico que faz uso de alguns argumentos que, em certo ponto, distanciam a TRR do EMM afim de evitar distorções histórico-científicas a respeito da questão e sua reprodução sistêmica em ambientes de sala de aula, contribuindo para o encerramento da retroalimentação de um ciclo.

Palavras-chave: Teoria da Relatividade Restrita, Experimento de Michelson- Morley, Empirismo

1. INTRODUÇÃO

O Experimento de Michelson-Morley pretendia medir o vento de éter em relação ao movimento orbital da Terra. Por apresentar resultado nulo, o EMM implicou na inexistência do éter ou na imprecisão do experimento. Em um primeiro momento, apostou-se nessa última opção como verdadeira. Lorentz, tentando salvar o éter e sua teoria eletromagnética, chegou a um conjunto de equações que indicava a contração do espaço quando um corpo se movia através do éter. Em contraste a Lorentz, a teoria de Einstein considerava inútil a existência do éter, posto que ele conhecia alguns experimentos cujo objetivo era detectar o arraste etéreo que findaram nulos. A amizade entre Lorentz e Einstein justificaria a apresentação do EMM a Einstein, uma vez que Lorentz foi um dos cientistas que mais o criticou. Porém, no artigo “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento” Einstein não menciona EMM. Para o trabalho que se segue assume-se a premissa de que a teorização einsteiniana se ampara na óptica dos corpos em movimento e na descoberta do elétron, problemas de fronteira entre mecânica e eletromagnetismo.

O próprio Einstein, em um artigo de revisão, em 1912, escreveu que o EMM poderia ser explicado pela TRR e que seria didaticamente viável para o ensino de Física. No entanto, ocorre que alguns autores ao transporem didaticamente esse conteúdo ao corpo dos livros didáticos de Ensino Médio, apresentam a TRR como uma generalização do EMM, o que não se configura uma verdade, ou pelo menos não há consenso. Portanto, a proposta deste trabalho é descrever como esses episódios e teorias levaram ao desenvolvimento da TRR. Pois, apesar de amplamente debatido, existem ainda abordagens inapropriadas e limitadas sendo reproduzidas no chão da sala de aula.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Teoria Eletromagnética da Luz

Inspirado pelas ideias de Faraday acerca de um éter permeado de linhas de força que transmitia ações eletromagnéticas, James Clerck Maxwell (1831 - 1879) construiu e sistematizou até 1873 sua teoria eletromagnética indicando que os fenômenos elétricos e magnéticos estavam intimamente ligados. Ao publicar sua obra “Teoria Eletromagnética da Luz” elaborou um conjunto de equações diferenciais que ficou conhecido como *Equações de Maxwell*.

Maxwell, em 1864, mostrou que um circuito elétrico oscilante poderia irradiar ondas eletromagnéticas com a velocidade de propagação da luz no vácuo identificando-as como ondas luminosas. Uma vez geradas, as ondas eletromagnéticas podem se propagar no vácuo. Sabendo que as fontes dos campos dessas ondas são a densidade de carga e a densidade de corrente e que no vácuo essas densidades são iguais à zero, Maxwell deduziu que a velocidade das ondas eletromagnéticas era aproximadamente $c \approx 3 \times 10^8$ m/s. Afetado por uma concepção mecanicista, Maxwell inferiu que as ondas eletromagnéticas deveriam se propagar em um meio específico. Com a união do Eletromagnetismo e da Óptica, ele considerou o éter como o meio de propagação dessas ondas.

Ao “meio” de propagação da luz foi dado historicamente o nome de “éter”, pois, quando a visão Mecânica da Física dominava o pensamento dos físicos (fins do século XIX e começo do século XX), não era realmente aceito que um distúrbio eletromagnético pudesse ser propagado no vácuo.

Então, alguns cientistas propuseram um meio que deveria servir de suporte para as oscilações transversais descritas pelas ondas eletromagnéticas. Assim, o éter preencheria todo o espaço e os corpos materiais, estaria em repouso em relação ao es-

paço absoluto, seria muito elástico, não possuiria massa e seria imperceptível. Além dessas características gerou-se uma discussão sobre a validade da Teoria Eletromagnética de Maxwell, ao submeter suas equações às Transformadas de Galileu. Maxwell considerou o sistema do éter, S , como um sistema inercial, no qual um observador mede a velocidade da luz aproximadamente como 3×10^8 m/s. Portanto, em um sistema S' se movendo a velocidade constante v em relação ao sistema do éter, um observador mediria uma velocidade diferente para o pulso luminoso, desde $c + v$ até $c - v$. Com esses resultados verificou-se que a velocidade da luz não seria invariante a uma transformada de Galileu.

Tal velocidade não pode ser a mesma para diferentes sistemas inerciais, em concordância com as transformações galileanas (sic), tal que os efeitos eletromagnéticos provavelmente não serão os mesmos para observadores inerciais diferentes. (RESNICK, 1968, p. 20)

Ao contrário das leis de Newton, as Equações de Maxwell não se conservavam a uma Transformada de Galileu. Essa incoerência implicava em duas hipóteses: ou Maxwell estava errado quanto à elaboração de sua teoria ou existiria um sistema privilegiado de referência (o éter) onde a velocidade da luz seria medida por c , validando as equações de Maxwell. A medição da velocidade da luz em diversos sistemas de referência determinaria a velocidade absoluta desses. Para verificar isso, experiências foram feitas usando luz proveniente das estrelas ou luz produzida por fontes na Terra.

2.2. Experimento de Michelson-Morley.

Dentre os cientistas, da época, que se detiveram no estudo da luz, destaca-se Albert Abraham Michelson (1851 – 1931). Por seus estudos em Óptica e Metrologia, Michelson tornou-se

o primeiro cientista americano a receber o Nobel de Física, em 1907. Durante seu processo investigativo, Michelson recebeu uma carta de Maxwell que versava sobre a dificuldade para medir a velocidade da Terra relativa ao éter, onde o problema consistia em observar efeitos de segunda ordem (v^2/c^2). Até então, experiências ópticas, cuja exatidão era proporcional à primeira ordem (v/c), não tinham sido capazes de detectar o possível movimento absoluto da Terra em relação ao éter. Daí então, Michelson idealizou e construiu um instrumento preciso com base na interferência luminosa, denominado interferômetro.

O experimento tinha por objetivo “medir a velocidade da luz em relação ao interferômetro (ou seja, em relação à Terra) o que equivaleria a demonstrar que a Terra estava em movimento em relação ao éter, representando, portanto, uma forma da existência do último” (TIPLER, 2001, p.8). Em suma, o experimento consistia em comparar a velocidade da luz de dois feixes luminosos perpendiculares entre si. “Segundo as regras da cinemática clássica, esperava-se que a velocidade de propagação da luz em relação à Terra dependesse da direção de propagação”. (CARUSO, 2006, p.184). Acreditava-se que a Terra ao girar em torno do seu eixo e ao orbitar o Sol, o dispositivo experimental se moveria em relação ao éter com velocidades e direções variáveis. Considerando o fato de que o éter estava fixo em relação ao sol, então a Terra se moveria através do éter, com velocidade de 30 km/s, em diferentes direções e estações.

Em 1881, no observatório de Astrofísica de Potsdam, Michelson fez sua primeira aferição utilizando o interferômetro. Ao interpretar as franjas de interferência decorridas pela diferença de caminho de dois pulsos luminosos, verificou um resultado nulo ao que se esperava. Posteriormente, em 1887, ao lado do Edward Willian Morley (1838 - 1923), na Case School of Applied Scien-

ce, em Cleveland, repetiu a experiência atenuando as influências externas que prejudicaram as primeiras medidas. Para tanto, o equipamento foi montado em um bloco de pedra de 1,5 m de lado que flutuava sobre um banho de mercúrio, atenuando, assim, os efeitos mecânicos indesejados e mais uma vez percebeu a nulidade do resultado.

Esquemáticamente, o procedimento experimental utilizado por Michelson considera, num interferômetro, um feixe de luz atravessando um espelho semitransparente M, inclinado 45° com a horizontal. Esse espelho divide o feixe luminoso em dois. Assim, parte da luz atravessa o espelho M até o espelho M_2 , onde é refletida e retorna ao espelho M e segue refletida ao detector. A outra parte do feixe, por reflexão, atinge o espelho M_1 , no qual é novamente refletida, passando através do espelho M até o detector, onde os feixes se interferem. Tal interferência pode ser construtiva ou destrutiva dependendo da diferença de fase dos feixes. “Os pesquisadores esperavam que o deslocamento ΔN fosse da ordem de 40% da largura da franja, ou seja, 40 vezes maior que o deslocamento mínimo”. (TIPLER, 2011, p.9). Contudo, as franjas tiveram o irrisório deslocamento de 1%.

se em algum instante a velocidade fosse zero em tal éter, certamente nenhum deslocamento de franja seria esperado. Mas a velocidade está mudando do dia para a noite (enquanto a Terra gira) e de estação para estação (à medida que a Terra gira ao redor do Sol). Portanto, a experiência não depende unicamente da velocidade “absoluta” através do éter, mas depende também da velocidade variável da Terra em relação ao “éter”. Tal movimento variável através do éter seria facilmente detectado e medido por experiências precisas, se houvesse um sistema de éter. O resultado nulo parece rejeitar um sistema absoluto de éter. (RESNICK, 1968, p. 29)

Na concepção de Michelson, a velocidade da luz obedecia à fórmula da adição de velocidades proveniente das Transformações de Galileu. Daí, considerando-se o ínfimo erro percentual do experimento, concluiu que não houve deslocamento de franjas. Logo, esse resultado nulo encontrado, ou seja, $\Delta N = 0$, pressupunha que a velocidade da luz seria a mesma em quaisquer direções. Todavia, isso implicava numa drástica incompatibilidade físico-filosófica, donde a velocidade da luz violaria as transformadas de Galileu. O resultado do experimento marcou a Física, quando indicou que, se a luz independesse do movimento do observador, os sistemas inerciais seriam equivalentes para uma propagação da luz. Desse modo, não poderia haver nenhuma evidência experimental que indicasse um sistema inercial único, isto é o éter fixo.

Mesmo diante dessa polêmica, os defensores do mecanicismo ainda persistiram em comprovar a existência do éter luminífero. Para tanto, realizaram inúmeros arranjos experimentais e repetiram, por quase cinquenta anos, em diversos horários e estações do ano, o Experimento de Michelson-Morley. Entretanto, a nulidade do resultado sempre foi notória.

2.3. A Tentativa de Lorentz em salvar o éter luminífero.

Ao final do século XIX, muitos cientistas estavam imbuídos na resolução da questão de que ou o éter seria imóvel ou a matéria, ao se deslocar, o arrastaria parcial ou totalmente. Hendrick Antoon Lorentz (1853 – 1928), pareceu ter superado o problema ao interpretar as equações de Maxwell. Ele inferiu que o éter eletromagnético era totalmente imóvel, desconsiderando, assim, as hipóteses que enfatizavam o seu arrastamento. De acordo com a interpretação física das equações de Maxwell, Lorentz cons-

tatou que a matéria era composta de partículas carregadas que criam campos elétricos e magnéticos à medida que se movem através do éter.

Ainda que, na mecânica, a distinção de um referencial inercial preferencial fosse impossível, a situação diferenciava-se para os campos da eletrodinâmica e da óptica. Contudo, para o referencial de repouso do éter haveria um sistema inercial preferencial e o movimento através dele seria detectável. Assim, as tentativas para verificar esse movimento por meio de efeitos ópticos, elétricos ou magnéticos falharam inúmeras vezes. Aparentemente, Lorentz teve sucesso em explicar o porquê dessas falhas, ao considerar efeitos de segunda ordem (v^2/c^2)

Lorentz foi levado a introduzir uma transformação do tempo absoluto de Newton para uma nova variável temporal, a qual é diferente para cada referencial inercial que se move através do éter. Como a relação entre o tempo absoluto e seu novo tempo variava de lugar para lugar, Lorentz o chamou de “tempo local” daquele referencial. Lorentz entendeu a transformação de um tempo absoluto para um local como um artifício puramente matemático, útil para demonstrar certos resultados físicos. (STACHEL, 2005, p. 6)

Outro cientista que se deteve na interpretação dessa questão do tempo local, foi Henri Poincaré (1854 - 1912). Ele interpretou o tempo local, dentro do contexto da cinemática de Newton, como “o tempo que relógios em repouso em um referencial que se move através do éter marcariam, se fossem sincronizados usando sinais de luz, mas sem levar em consideração o movimento do referencial”. (STACHEL, 2005, p.6). Dessa forma, a análise feita pelos cientistas prenunciou que os problemas da eletrodinâmica e da óptica dos corpos em movimento relacionavam-se com o conceito de tempo.

No desenvolvimento da teoria de Lorentz, as explicações das fracassadas tentativas experimentais de manutenção do éter luminífero foram importantes. Nessa época, o experimento de Michelson foi construído no intento de detectar o éter luminífero, destacando a sensibilidade do interferômetro proporcional à segunda ordem, isto é, $(v/c)^2$. Mediante o fracasso do experimento, Lorentz propôs transformações matemáticas para as coordenadas espaciais em um referencial em movimento que contrariavam as Transformadas de Galileu. Em sua versão, Lorentz indicou que o vento etéreo comprimia fisicamente toda a matéria, inclusive o aparato de Michelson-Morley, compensando e ocultando a variação de velocidade decorrente da direção. Assim, haveria uma contração real dos corpos rígidos na direção de seus movimentos através do éter. A Contração de Lorentz considerava que, a efeito de segunda ordem, fosse introduzido um fator (γ), conhecido por fator de Lorentz. O termo é escrito na forma:

$$\gamma = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (1)$$

A expressão anterior é reescrita em função de β , onde $\beta = \frac{v}{c}$, e assim:

$$\gamma = \sqrt{1 - \beta^2} \quad (2)$$

Lorentz denominava d^0 o comprimento de um móvel em repouso em relação ao éter. Caso esse corpo se movesse através do éter, conseqüentemente sofreria uma contração, representada por d e expressa desse modo:

$$d = d^0 \sqrt{1 - \beta^2} \quad (3)$$

A fim de interpretar o resultado nulo do experimento de Michelson-Morley, Lorentz recorreu a sua hipótese de contração. No entanto, o fracasso das inúmeras experiências realizadas para medir o movimento da Terra em relação ao meio luminífero levantou a hipótese de que, tanto na Mecânica como na Eletrodinâmica, os fenômenos não mostram nenhuma particularidade que os faça corresponder à ideia de um referencial privilegiado em repouso absoluto. Portanto, os sistemas de coordenadas válidas às equações da Mecânica devem ser válidos, também, às leis *ópticas e eletrodinâmicas*.

Assim, mediante variados procedimentos experimentais, concluiu-se que as leis que regem a Eletrodinâmica não necessitavam de alteração, pois estavam corretas. Consequentemente, entende-se que a velocidade da luz não se altera em quaisquer sistemas inerciais e independe do movimento relativo da fonte e do observador. Daí as constatações conduziram a comprovação de que a Transformação de Galileu precisava de reformulação.

2.4. Teoria da Relatividade Restrita e o Empirismo

Em seu trabalho “*Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento*”, Albert Einstein introduziu o *Princípio da Relatividade*, segundo o qual as leis da física aplicam-se em todos os sistemas de referência inerciais, e o *Princípio da Constância da Velocidade da Luz*, onde a mesma se propaga sempre com uma velocidade determinada, no vácuo, independentemente do movimento da fonte, sendo a mesma para todos os observadores inerciais. Deve-se, ainda a Einstein o arremate sobre a questão do tempo absoluto, afirmando que, do ponto de vista da Física, o “tempo local” de um referencial inercial é tão expressivo quanto o de qualquer outro referencial e de que não há tempo absoluto.

Daí entende-se que as questões levantadas pelas Teorias Eletromagnéticas de Maxwell e Lorentz e suas “compatibilidades” com o éter, foram resolvidas pela Teoria da Relatividade Restrita de Einstein. “Os problemas com os quais Einstein se ocupou eram de um tipo muito especial e estavam relacionados com a estrutura interna dos sistemas de conhecimento da física clássica.” (STACHEL, 2005, p. 29). Portanto, o problema de fronteira entre a mecânica e o eletromagnetismo e sua superação foram o embrião desta teoria. Sobretudo, “a problemática surge a partir da descoberta de Joseph John Thomson de uma partícula portadora de carga negativa (o elétron), o que revela a natureza discreta da corrente elétrica e exige uma eletrodinâmica para corpúsculos em movimento, isto é, uma teoria que explique o comportamento de partículas carregadas deslocando-se em campos eletromagnéticos”.(GERMANO, 2011, p. 135).

Os resultados explicitados por Einstein no artigo “Sobre a Eletrodinâmica dos corpos em movimento”, em 1905, muito pareciam com aqueles obtidos antes por Lorentz e Poincaré. Contudo,

Havia uma importante diferença epistemológica entre Einstein e esses antecessores. Enquanto Lorentz e Poincaré aceitavam a existência de um éter (segundo as concepções de Maxwell), Einstein negou a validade de se falar a respeito do éter, já que ele era inobservável e (segundo a atitude adotada por Einstein nessa época) a física só deveria tratar de entes e grandezas observáveis e mensuráveis. (MARTINS, 2009, p. 26)

“A adoção de uma epistemologia empirista foi uma condição necessária para que Einstein formulasse sua visão da teoria da relatividade”. (MARTINS, 2009, p.26). Na fase experimental foi necessário que Einstein elege-se experiências que validassem a interpretação atomística da eletricidade ou da tradicional teoria

do meio contínuo, o éter. Enveredou, então, pela opção de medir a influência que o movimento relativo de corpos em relação ao éter teria sobre a velocidade de propagação da luz em corpos transparentes. Einstein conhecia outras bases experimentais para detecção do éter, seu arrasto e outras possibilidades, e o quanto essas não foram exitosas ao que se propunham.

3. CONCLUSÃO

Em relação ao EMM, “curiosamente, apesar de ele (Einstein) mencionar muitos destes experimentos, ele cita (em seus manuscritos) apenas o experimento de Michelson-Morley, que ele diz ser ‘fundamentalmente importante’”(STACHEL,2005). “O próprio Einstein considerava que o experimento de Michelson-Morley era necessário para que a maioria dos físicos aceitasse a sua teoria; mas isso é bem diferente de considerar o experimento como gênese e base da relatividade” (VILLANI,1981,p.38).

O desfecho desta celeuma está no âmbito filosófico da TRR. “Como se comportam então escalas e relógios em tais sistemas?”. “O que significa exatamente quando se diz que um evento acontece simultaneamente a outro evento ou como se pode determinar isto?”. Estas foram perguntas feitas por Michele Besso (amigo de Einstein) que são tidas como desencadeadoras do insight do cientista para TRR

Tais perguntas permitiram a Einstein reconhecer no problema da simultaneidade de eventos em dois sistemas em movimento relativo o passo fundamental para a solução de seu problema. Estas perguntas encontraram ressonância em suas leituras sobre filosofia em particular nos escritos de David Hume e Ernst Mach. (STACHEL,2005, p. 35).

Ao final, o *insight* einsteiniano para questão invoca o argumento de que não o tempo e o espaço eram absolutos, mas a velocidade da luz, independe do referencial. Hipótese essa compatível à Eletrodinâmica de Lorentz, embora suas premissas não fossem tão intuitivas. Desta forma, a solução veio com a unificação dos níveis de conhecimento teórico e prático, uma vez que os fundamentos do seu conhecimento de tempo ligaram-se a sua expertise “sobre a medida de tempo em diferentes locais com uma previsão teórica sobre a propagação da luz, cujas bases se encontravam em estudos especializados da eletrodinâmica dos corpos em movimento” (STACHEL, p. 35).

REFERÊNCIAS

- CARUSO, F; OGURI, V., **Física Moderna – Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos**, Ed. Campus, Rio de Janeiro, 2006
- RESNICK, R. **Introdução à relatividade especial**, Polígono S.A. São Paulo, 1971;
- TIPLER, P. A. LLEWELLYN, Ralph A. **Física Moderna**, 3ª ed. LTC, Rio de Janeiro, 2001.
- STACHEL, J. **1905 e tudo o mais**. Rev. Bras. Ensino Fis., Mar 2005, vol.27, no.1, p.5-9.
- MARTINS, R. A. **Física e História**. Física/Artigos. p.25-29. 2009.
- GERMANO, M. G. **Uma nova ciência para um novo senso comum**. Marcelo Gomes Germano. Campina Grande: EDUEPB, 2011. 400 p.
- VILLANI, A. **O confronto Einstein-Lorentz e suas interpretações**. Parte 1: A revolução einsteiniana. Revista de Ensino de Física, v. 3, n. 1, p. 31-45, 1981
- STACHEL, J. **O manuscrito de Einstein de 1912 como pista para o desenvolvimento da teoria da relatividade restrita**. Scientia Studia, São Paulo, v. 3, n. 4, p. 583-96, 2005

RESUMOS EXPANDIDOS

O ensino de astronomia no Brasil

Carlos Gabriel de Paiva Lacerda

Resumo

O presente artigo mostra como se encontra atualmente o ensino de Astronomia no Brasil, apontando a situação desta ciência em diversas áreas. O intuito deste artigo é mostrar o potencial da Astronomia como ciência interdisciplinar, podendo assim ser de grande auxílio aos docentes, e como forma de impulso ao desenvolvimento socioeconômico de um país, tendo em vista que um país necessita de avanços científicos e tecnológicos para crescer. Este artigo foi constituído a partir de uma pesquisa dos principais trabalhos desenvolvidos sobre o ensino de Astronomia e que mostrem o potencial interdisciplinar desta ciência. A partir desta pesquisa pode-se observar que o imenso potencial da Astronomia é quase que totalmente desperdiçado. No currículo escolar brasileiro há apenas uma carga horária mínima destinada ao ensino de Astronomia, sendo também um problema para a educação desta ciência a má formação de professores, que quase não conseguem encontrar uma instituição que ofereça cursos na área, outro problema é a construção inadequada de materiais didáticos, que apresentam diversos problemas e incoerências. No Brasil quase não há incentivos a pesquisa nesta área, e ainda não há quase nenhuma divulgação por parte das mídias que abrangem as grandes massas, tornando a Astronomia uma ciência esquecida e desvalorizada em um país onde pesquisa científica, em qualquer área, já não tem tanto incentivo e reconhecimento.

Palavras-chave: Ensino de Astronomia. Ciência pouco explorada. Ciência interdisciplinar. Potencial para avanço de um país.

Introdução

O ensino em um país em desenvolvimento como o Brasil sempre foi motivo de estudo e preocupação. Um país para ser de fato desenvolvido deve ter um ensino de qualidade, para que assim ele possa ter profissionais qualificados para manter o seu padrão de desenvolvimento, tanto econômico quanto científico e tecnológico. O ensino da Astronomia no Brasil é, ainda hoje, escasso e ineficiente.

A Astronomia, mesmo sendo interdisciplinar, tem, tanto no ensino básico quanto no superior, uma falta de professores que tenham qualificação para o ensino da disciplina. O ensino da Astronomia tanto no ensino fundamental quanto no médio ainda não saiu do papel (ALVES; JESUS; ROCHA, 2012, p. 198). No ensino superior a Astronomia é apenas introdutória.

Dessa forma, foi vista a necessidade de se rever o ensino da Astronomia, levando a pesquisa a ter como objetivos:

1. Obter uma visão geral da atual situação do ensino de Astronomia no Brasil;
2. Mostrar o potencial interdisciplinar que a Astronomia tem;
3. Mostrar as principais atividades que a Astronomia possui atualmente;
4. Mostrar a necessidade de professores especializados no ensino da Astronomia.

O estudo está estruturado de maneira a fornecer um panorama geral do ensino da Astronomia no Brasil com as principais atividades realizadas numa tentativa de reunir esforços para a melhoria da qualidade de ensino deste tema (LANGHI, 2004, p. 10).

1 Por Que Pesquisar o Ensino da Astronomia no Brasil

Atualmente, existe na Astronomia um grande potencial para gerar um aumento tanto na eficácia da aprendizagem, quanto na tecnologia.

No entanto, como sabemos, o ensino de Física carece muito de ações significativas para a sua apropriada apreensão. Estamos situados no planeta Terra, no Sistema Solar, na Via Láctea, no Universo e, no entanto, não exploramos consistentemente esses aspectos astronômicos nas disciplinas de Física, seja no ensino fundamental, ensino médio, ou universitário (ALVES; JESUS; ROCHA, 2012b, p. 198).

Evidencia-se também que no Brasil praticamente não existe investimento para produção científica e tecnológica, tendo em vista que ambas podem contribuir para o desenvolvimento de um país. Segundo Alves et al. (2012, p. 197) um exemplo sempre citado é o fato de que aproximadamente um terço do Produto Interno Bruto (PIB) dos Estados Unidos é proveniente de tecnologias que tem como base a mecânica quântica.

2 Metodologia

O estudo desenvolver-se à baseado no modo de pesquisa bibliográfica. Serão coletados quaisquer trabalhos realizados que tenham relação com a condição em que se encontra o ensino da Astronomia no Brasil. Será realizado um fichamento baseado nas obras coletadas, serão lidas e resumidas para dar contribuição à construção da pesquisa. Dessa forma a pesquisa bibliográfica não é mera repetição do que já foi dito ou escrito sobre certo assunto, mas propicia o exame de um tema sob novo enfoque ou abordagem, chegando a conclusões inovadoras (MARCONI; LAKATOS, 2007)

3 Visão Geral do Ensino da Astronomia no Brasil

O ensino da Astronomia ainda é bastante simples no Brasil. Será mostrado a seguir o mais recente estado da educação da Astronomia no Brasil. Optou-se por dividir em sete categorias de estudo para melhor exemplificação do quadro do ensino de Astronomia.

3.1 Educação básica

No âmbito da educação básica, as escolas de educação infantil, ensino fundamental e ensino médio atuam de modo formal no papel de instituições que promovem o processo de ensino/aprendizagem de conteúdos de astronomia, embora de modo reduzido, e muitas vezes até nulo, como mostram os resultados das pesquisas da área de educação em astronomia (LANGHI; NARDI, 2010, p. 3).

A deficiência no ensino da Astronomia na educação básica também se deve a má formação dos professores. Também se deve somar a falta de carga horaria, que dificulta a totalização dos conteúdos.

3.2 Graduação e pós-graduação

Incluindo a educação formal, estão os cursos de graduação e pós-graduação, em universidades que abordam, em sua estrutura curricular, a disciplina de astronomia introdutória, seja ela obrigatória ou optativa (LANGHI; NARDI, 2010, p. 4). Porém poucas universidades possuem centros e professores especialmente focados em pesquisa e ensino da Astronomia.

3.3 Extensão

Com relação a extensão, os únicos locais que disponibilizam de cursos na área da Astronomia são universidades ou instituições públicas, que, como já foi dito, são escassas.

3.4 Pesquisa

O ensino da Astronomia vem sendo recentemente estudado devido a evidência do seu potencial para a educação e tecnologia.

Nas últimas décadas vem ocorrendo um sensível crescimento da pesquisa em ensino de astronomia. Foram produzidas mais teses, dissertações de mestrado, trabalhos de iniciação científica e, em consequência, um volume considerável de trabalhos vem sendo publicado em periódicos da área e apresentado em eventos nacionais e internacionais, como os encontros nacionais de pesquisa em ensino de ciências (ENPEC), os de pesquisa em ensino de física (EPEF), os simpósios nacionais de ensino de física (SNEF), os encontros nacionais de didática e prática de ensino (ENDIPE) (LANGHI; NARDI, 2010, p. 4).

3.5 Popularização midiática

A popularização da Astronomia pela mídia é muito debilitada, devido a falta de documentários e falta de ênfase que a mídia dá as novas descobertas, menos ênfase ainda para o ensino da Astronomia.

3.6 Estabelecimentos

Existem hoje no Brasil estabelecimentos e associações que se preocupam exclusivamente com ensino, pesquisa, estudo, e

divulgação da Astronomia, são exemplos: a Sociedade Brasileira de Física (SBF), a Associação Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências (ABRAPEC), a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), Comissão de Ensino da Sociedade Astronômica Brasileira (CESAB), entre outras.

3.7 Materiais didáticos

Como materiais didáticos encontram-se disponíveis livros didáticos e paradidáticos, sites, apostilas de cursos, e revistas. Alguns desses recursos funcionam como fontes confiáveis de pesquisa, tendo em vista os erros conceituais nos livros didáticos.

3.7.1 Livros didáticos

O papel do livro didático tem assumido uma importância fundamental para o ensino de Ciências em todas as séries do sistema educacional. Recentemente, o livro didático passou por uma série de avaliações por parte do MEC (Ministério da Educação e do Desporto) em que se assegurou a correção de muitos erros conceituais, apesar de vários outros ainda incorporarem o seu texto (LEITE e HOSOUME *apud* LANGHI, 2004, p. 52).

São listados a seguir os erros mais frequentes encontrados em livros didáticos:

1. Estações do ano;
2. Lua e suas fases;
3. Movimentos e inclinação da Terra;
4. Constelações;
5. Estrelas entre órbitas planetárias;
6. Dimensões dos astros e órbitas planetárias;

7. Número de satélites e anéis;
8. Pontos Cardeais;
9. Aspectos históricos e filosóficos.

4 Considerações Finais

O panorama geral histórico do ensino da Astronomia no Brasil demonstra o quanto esta Ciência tem se afastado dos currículos escolares, a tal ponto de praticamente inexistir em cursos de formação de professores, notadamente de Ensino Fundamental e dos anos iniciais. A existência desta deficiência na formação do docente geralmente implica em geração de dificuldades neste tema durante o seu ensino em Ciências para as crianças (LANGHI, 2004, p. 173).

Para superar as dificuldades deve-se investir na qualificação dos professores. Segundo Alves et al. (2012, p. 198) a Astronomia é um bom tema (PACCA; SCARINCI *apud* ALVES; JESUS; ROCHA, 2012) para se trabalhar a autonomia de aprendizado, pois usamos o raciocínio lógico, a elaboração e defesa de argumentos, o relacionamento interpessoal e a motivação para os estudos.

Referências Bibliográficas

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. **Técnicas de pesquisa**: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados. São Paulo, Editora Atlas S.A., 2007.

ALVES, A. S.; JESUS, J. C. O.; ROCHA, G. R. Ensino de Astronomia: motivação para se compreender a Física. In: ALVES, A. S.; JESUS, J. C. O.; ROCHA, G. R. (Orgs.). **Ensino de Física**: reflexões, abordagens e práticas. 1.ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012, p. 197-212.

LANGHI, Rodolfo. *Um estudo exploratório para a inserção da astronomia na formação de professores dos anos iniciais do ensino fundamental*. Faculdade de Ciências da UNESP. 2004. Dissertação (Mestrado) UNESP, Bauru.

LANGHI, R.; NARDI, R. *Ensino de Astronomia no Brasil :educação formal, informal, não formal e divulgação científica*. Departamento de Educação, Faculdade de Ciências da UNESP. 2010. Artigo UNESP, Bauru.

Para Internet- Disponível em: < <http://www.sab-astro.org.br/Resources/Documents/WP-Ensino-Div.pdf>>. Acesso em: 14/11/2015.

Minicurso preparatório para a XIX olimpíada brasileira de astronomia e astronáutica

Antonio Aionesio Souza da Silva, Jonas Guimarães Paulo Neto e
Nórlia Nabuco Parente

RESUMO

Sabe-se que o ensino de Astronomia é pouco difundido na educação básica, está sendo ministrada apenas dentro das disciplinas de Geografia e Física. Por consequência tem-se um baixo índice de aprendizagem dos conceitos básicos desta. Diante dessa constatação, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus Sobral*, vem desenvolvendo ações que objetivam minimizar essa problemática, por meio do Subprojeto de Física do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID). As ações são realizadas em três escolas públicas, e neste artigo, será apresentado os resultados de uma pesquisa-ação desenvolvida em parceria com a E.E.M. Dr. João Ribeiro Ramos. O projeto desenvolvido promoveu a realização do Minicurso Preparatório para a XIX Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA), o qual teve uma proposta de ensino que procurou promover discussões sobre temas da Astronomia com os alunos participantes. Apresentou-se sete atividades que procurou promover a compreensão dos conceitos básicos da Astronomia. Para isto, o estudo do sistema solar em escala, uma diferenciação entre estrela e planeta, um resgate histórico de como ocorreu o mapeamento das estrelas e sua distribuição na bandeira do Brasil estão entre os temas discutidos ao longo do Minicurso. O mesmo foi realizado com turmas do segundo e terceiro anos do ensino médio do turno vespertino. A partir de uma comparação das respostas apresentadas pelos alunos a um questionário inicial e final aplicados, respectivamente, no primeiro e no último encontro da proposta de ensino, foi

possível verificar um avanço na aprendizagem de Astronomia. Espera-se ainda que esta proposta possa contribuir para que outros bolsistas e/ou professores também realizem discussões com seus alunos mediados por temas da Astronomia.

Palavras-chave: Astronomia. Ensino Médio. Olimpíada de Astronomia. PIBID.

1. INTRODUÇÃO

Anualmente no Brasil, acontecem várias Olimpíadas Científicas nas mais diversas áreas do conhecimento, algumas são ligadas diretamente ao ensino de Astronomia, como a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA). A competição conta com grande participação de estudantes do ensino fundamental e médio, tendo como objetivo principal incentivar e encontrar talentos, além de servir como desafio para que os estudantes possam entender melhor os conceitos estudados.

Tendo como base que a Astronomia está presente no dia a dia de todos, bastando olhar o céu. O movimento do sol, das estrelas, da lua entre outros que podem ser observados a olho nu. Torna-se mais fácil o aprendizado desta ciência. Entretanto sabemos que esse tipo de curiosidade é cada vez mais raro e pouco incentivado nas escolas, ou seja, não a relação entre o assunto abordado com o cotidiano do discente.

Partindo dessa constatação, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – *Campus Sobral*, vem desenvolvendo ações que busquem minimizar esse e outros problemas semelhantes, por meio do Subprojeto de Física do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID). As

ações são realizadas em três escolas públicas, e neste artigo, será apresentada uma proposta que foi desenvolvida em parceria com a E.E.M. Dr. João Ribeiro Ramos. Tratou-se da promoção de um Minicurso preparatório para a XIX edição da OBA, com a finalidade de preparar e estimular os discentes sobre o ensino de Astronomia.

O ensino de Astronomia é pouco desenvolvido no ensino médio. Assim surge um desafio: como fazer com que os alunos consigam aprendê-la? Essa é uma questão muito difícil de responder, pois se trata de um caso em que envolve múltiplos fatores, desde hábitos sociais dos estudantes até mesmo a pouca preparação docente. Contudo este projeto buscou trabalhar de forma que os alunos desenvolvessem a curiosidade em aprenderem a Astronomia como algo importante para a compreensão do Universo.

Um conjunto de justificativas para o ensino de Astronomia é destacado por vários pesquisadores do ensino de Ciências, de Física e de Astronomia. Merlucci et al. *apud* Soler citam,

(...) que os temas astronômicos possuem a característica de despertar a atenção, interesse e a curiosidade, junto a vários tipos de público, desde crianças, a jovens e adultos, mas em especial em alunos e mesmo em professores. (...) a relevância sócio-histórico-cultural da Astronomia, e suas contribuições para a evolução das civilizações ao longo do tempo; a possibilidade que os conhecimentos de Astronomia têm de promover uma ampliação de visão de mundo do estudante, e uma maior conscientização a respeito da unicidade do planeta Terra; a capacidade diferenciada que a Astronomia teria de se relacionar com outras áreas do conhecimento humano, a chamada interdisciplinaridade da Astronomia (MERLUCCI *apud* SOLER, 2014, p.02).

Embora muitas pesquisas não tenham uma fundamentação teórica sobre o assunto, é consenso entre os pesquisadores da área a importância do ensino deste tema na educação básica.

A Astronomia é uma das Ciências mais antigas, tendo seu desenvolvimento datado por volta de 1600 a.C, na Grécia antiga, sendo que esta era usada basicamente para a orientação de direções e definição das estações do ano. Já na atualidade o ensino de Astronomia na educação básica é pouco incentivado, ganhando mais espaço somente nos cursos de pós graduação. Sobre isso Langhi e Nardi *apud* Bretones dizem:

Desde que a primeira tese brasileira, cujo conteúdo incluía discussões acerca de aspectos inovadores em relação ao ensino de Astronomia na educação, foi publicada em 1973, outros 119 trabalhos de pós-graduação com abordagem sobre Educação em Astronomia foram produzidos até 2013, sendo 107 dissertações de mestrado acadêmico e profissional e mais 12 teses de doutorado (LANGHI; NARDI *apud* BRETONES, 2014, p. 42).

A necessidade de inserção da Astronomia nos currículos da educação básica é defendida por alguns estudiosos, Langhi e Nardi, fazem uma abordagem direta dizendo que, “(...) apesar deste crescente interesse dos pesquisadores sobre o tema, o ensino da Astronomia na Educação Básica ainda parece escasso no Brasil, constituindo-se basicamente de episódios isolados e esforços pontuais” (LANGHI; NARDI, 2014, p. 43).

O ensino de Astronomia vem ganhando mais espaço no ensino fundamental e médio através da OBA, eventos que a cada ano se solidifica mais, estando entre as Olimpíadas nacionais mais concorridas.

Certo da grande importância do ensino de Astronomia é que foi promovido o Minicurso Preparatório para a XIX Olimpíada Brasileira de Astronomia e que teve como objetivo principal preparar os discentes para a participação no evento.

Contudo, este projeto também objetivou consolidar os conhecimentos prévios de Astronomia dos discentes, trabalhando de forma dinâmica e interativa fazendo com que os mesmo se sintam à vontade em participarem do Minicurso.

2. METODOLOGIA

O projeto Minicurso Preparatório para a XIX Olimpíada de Astronomia e Astronáutica foi desenvolvido pelos bolsistas do PIBID, com acompanhamento do professor supervisor.

Este projeto foi desenvolvido com alunos dos segundos e terceiros anos do ensino médio da E.E.M. Dr. João Ribeiro Ramos, localizada na cidade de Sobral, no norte do estado do Ceará. A instituição oferta ensino médio regular e Educação de Jovens e Adultos (EJA), funcionando nos turnos matutino, vespertino e noturno.

Durante o minicurso, ofertado no turno matutino, foram trabalhados os conceitos básicos de Astronomia.

A sequência do projeto seguiu os seguintes passos:

1. Escolha dos estudantes que participaram do Minicurso;
2. Sondagem de conhecimento baseado nos conceitos básicos de Astronomia;
3. Realização do Minicurso;
4. Aferição de aprendizado baseado nos conceitos básicos de Astronomia.

Os encontros do Minicurso foram semanais, nas terças feiras, turno matutino, este sendo voltado para as turmas que frequentam as aulas regulares no turno tarde, tendo duração de duas horas aula cada, com carga horária total de 14 horas. Objetivando assim fazer com que os alunos participantes do projeto estejam envolvidos em atividades escolares no contra turno de suas aulas regulares.

O Minicurso foi ministrado pelos bolsistas do PIBID com o acompanhamento e orientação do professor supervisor. Este foi ministrado por meio de explicações de forma oral, escrita e audiovisual. Terá como base os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e o conteúdo indicado pela Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) e Agência Espacial Brasileira (AEB) para a OBA.

O início do projeto aconteceu na segunda semana de Março de 2016 com divulgação do Minicurso para as turmas participantes. Os encontros foram semanais até a segunda semana de Maio, onde durante este intervalo de tempo foram trabalhados os assuntos referentes à OBA. Sendo que no último encontro que se realizou a aferição de aprendizagem dos discentes participantes do projeto e dia 13 de Maio foi realizada a prova da Olimpíada.

A proposta de ensino do Minicurso se fundamentou em sete atividades, sendo as seguintes:

Atividade I: procurar diferenciar estrela de planeta e discutir a história da descoberta dos planetas do Sistema Solar;

Atividade II: procurar propiciar uma maior compreensão das medidas de distância e diâmetro dos planetas no Sistema Solar, através da construção de um modelo deste em escala;

Atividade III: problematizar questões relacionadas aos polos e eixos de rotação da Terra;

Atividade IV: discutir o mapeamento das estrelas e sua distribuição na bandeira do Brasil;

Atividade V: procurar promover uma maior compreensão das relações entre os movimentos da Terra, da Lua e do Sol para a descrição de fenômenos astronômicos (estações do ano, fases da lua e eclipses);

Atividade VI: Realizar estudo detalhado sobre o planeta Marte;

Atividade VII: procurar estimular o aluno a utilizar os conhecimentos adquiridos na resolução das questões da OBA, com distribuição de provas anteriores e dicas fundamentais de resolução.

Sendo que a cada encontro semanal foi trabalhado uma atividade, sendo concluída todas com aproveitamento razoável, sendo proporcionado a todos os discentes participantes encontros dinâmicos e interativos.

3. RESULTADOS

A intervenção foi realizada com turmas do segundo e terceiro anos do ensino médio do turno vespertino da E.E.M. Dr. João Ribeiro Ramos. Para dimensionar o aprendizado inicial dos alunos sobre conhecimentos de Astronomia, foi solicitado que eles respondessem a um questionário inicial (sondagem de conhecimento) e final (aferição de aprendizagem) aplicados, respectivamente, no primeiro e no último encontro da proposta de ensino do Minicurso. Para este trabalho selecionou-se para análise questões variadas sobre os conceitos básicos de Astronomia. A escolha das questões foi feita tendo por base que o conhecimento exigido nas mesmas eram de extrema importância os discentes já saberem.

Elaborou-se 04 (quatro) questões semelhantes para cada questionário, para assim poder realizar uma comparação dos avanços e/ou retrocessos de aprendizagem. Os resultados apresentados neste trabalho são decorrentes de uma análise dos resultados obtidos conforme as respostas obtidas dos questionários aplicados aos estudantes. No questionário final os estudantes tinham uma questão a mais no qual os mesmos podiam registrar livremente o que aprenderam, o que gostaram e não gostaram nos encontros do Minicurso.

A seguir apresentam-se os resultados obtidos. Ao todo 19 estudantes responderam a sondagem de aprendizado e 25 alunos a aferição de aprendizado.

Primeira questão:

Abordando sobre os modelos astronômicos e seus pensadores, qual foi o modelo defendido por Nicolau Copérnico:

- a) Heliocêntrico
- b) Geocêntrico
- c) Afélio
- d) Copernicano

Quanto as respostas a essa questão na sondagem de conhecimento os alunos obtiveram 47,37% de acertos, enquanto no teste de aferição de aprendizagem esse valor subiu para 84,00%.

Esse resultado foi possível com utilização de recursos audiovisuais, onde foi explicado por pesquisadores todos os modelos astronômicos e seus pensadores.

Segunda questão:

Pela classificação atual do sistema solar este contém quantos planetas?

- a) 5 planetas
- b) 7 planetas
- c) 1 planeta
- d) 8 planetas

O resultado da sondagem de aprendizado dessa pergunta deixou todos os bolsistas curiosos e preocupados, quanto o baixo nível de conhecimento de Astronomia de alunos que em sua maioria já estão concluindo a educação básica. Pois apenas 52,63% responderam corretamente essa questão, na sondagem de conhecimento onde esperávamos um resultado acima dos 90%. O que nos obrigou a trabalhar o sistema solar de forma detalhada com construção de maquete e recursos audiovisuais para possibilitar que os alunos revertissem o mal resultado obtido no primeiro teste. O que nos deixou menos preocupados foi que na aferição de aprendizagem 88,00% responderam corretamente, mostrando assim um grau de aprendizado razoável durante o Minicurso.

Terceira Questão:

Sobre os conhecimentos atuais de Astronomia foi indagado aos alunos sobre qual o planeta tem sido ultimamente explorado na busca de saber se há existência de vida no mesmo?

- a) Júpiter
- b) Marte
- c) Vênus
- d) Lua

Para essa questão os discentes obtiveram um bom resultado na sondagem de conhecimento, onde 84,21% acertaram a resposta. E na aferição de aprendizagem os alunos mostraram que aperfeiçoaram seus conhecimentos prévios, sendo que 96,00% dos alunos acertaram a resposta, sendo que apenas 1 (um) aluno errou, isso mostra como o aperfeiçoamento dos conhecimentos prévios devem ser utilizados durante a metodologia de ensino.

Quarta Questão:

Qual a galáxia mais próxima a Via Láctea?

- a) Galáxia de Andrômeda
- b) Galáxia do Boto
- c) Galáxia Centaurus A
- d) Galáxia Plutônica

Essa questão parece uma das mais difíceis, mas exige apenas conhecimentos básicos de estudantes que estão concluindo a educação básica. Nesta 42,10% dos discentes acertaram a respostas no teste de sondagem de conhecimento, enquanto 72,00% dos participantes acertaram no segundo teste que aferia o nível de aprendizado, assim constatando que os discentes obtiveram conhecimento quando comparado o antes e o depois do Minicurso.

No espaço aberto para os alunos registrarem suas impressões sobre o Minicurso, contido no último teste, alguns realizaram os seguintes comentários:

“Eu achei muito interessante, pois aprendi muita coisa interessante sobre os planetas” (Aluno 04).

O aluno 17 afirmou “foi bom, mas queria que fosse direto porque aprendo mais aqui de que com os professores normais” (Aluno 17).

Esses foram apenas alguns comentários, mais todos ressaltaram a importância da realização do Minicurso para o aprendizado dos mesmos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho fez parte das atividades previstas no subprojeto de Física do PIBID- IFCE - *Campus Sobral*, em 2016, que tem como objetivo inserir metodologias que possam propiciar aos discentes envolvidos a aprendizagem da ciência de forma dinâmica e interativa.

Entre os principais objetivos destaca-se a investigação das concepções dos alunos da escola parceira do subprojeto e a produção e aplicação dos encontros sobre o tema. Partindo da informação de que apesar de estar presente nos PCNs, a Astronomia ainda não é adequadamente discutida na educação básica, sendo que isso gera uma série de deficiências na formação dos alunos. Tratou-se de um trabalho árduo, que utilizou a prova da Olimpíada Brasileira de Astronomia deste ano como o foco principal.

Algumas análises iniciais já indicaram que a OBA é um fator motivador interessante à inserção de temas de Astronomia, uma vez que houve uma boa procura pelo curso e uma boa aceitação pelos discentes. E os outros dados confirmaram que os alunos tinham déficit de aprendizagem dos conhecimentos de Astronomia, e ainda revelou que houve grande avanço na aprendizagem dos conceitos básicos desta Ciência, assim consideramos que ao final do Minicurso os discentes submetidos ao mesmo estavam bem preparados para a realização da XIX edição da OBA.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **PCN + Ensino médio:** Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/ SEB, 2007.

DEBOM, Camila Riegel. O aprendizado da Astronomia e das ciências afins como a mediação da observação rudimentar e da imagem astronômica. 2010. 87f. **Dissertação** (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2010.

LANGHI, Rodolfo; NARDI, Roberto. Justificativas para o ensino de Astronomia: o que dizem os pesquisadores brasileiros? **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Bauru, v. 14, n. 03, p. 41 – 59, 2014.

MERLUCCI, et al. **Ensino de Astronomia no contexto do PIBID: uma proposta para alunos do ensino médio.** In: SIMPÓSIO NACIONAL.

Física: epistemologia e ensino

Rogério Fonteneles Castro; Carlos Alberto Santos Almeida e
Francisco Herbert Lima Vasconcelos

RESUMO

Neste trabalho apresentamos um estudo ontológico, epistemológico, semântico e metodológico do conhecimento da Física visando alcançar um profundo entendimento de seus construtos. Partindo deste estudo, empreendemos uma pesquisa - realizada numa turma de alunos do curso de Especialização em Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará -, sobre o ensino/aprendizagem dos conceitos da Física Moderna e Contemporânea. Durante as aulas, ao longo do curso de Especialização, através da observação de discussões envolvendo questões teóricas específicas, buscamos identificar como os obstáculos epistemológicos estavam relacionados ao aprendizado dos alunos e ao ensino dos professores. Os resultados e discussões apresentados neste trabalho são parciais, mas mostram a necessidade de se entender como a Física constrói seus conceitos e teorias para que, com isto, reconhecendo e superando os obstáculos epistemológicos, se possa promover satisfatoriamente o ensino/aprendizagem da Física Moderna e Contemporânea.

Palavras-chave: Epistemologia. Obstáculo Epistemológico. Bachelard. Física Moderna Contemporânea.

1 INTRODUÇÃO

Só quem bem compreende a natureza da ciência, poderá com proveito e prazer, e sem perplexidades, aplicar-se aos estudos científicos. Ciência não é coleção de conhecimentos nem busca da verdade, mas sim formação de conceitos. A Física não conta fatos, pois os seus termos: massa, energia, velocidade, não são realidades, e sim os conceitos fundamentais da ciência física, como, aliás, muito bem se diz, mas que frequentemente nos escapa durante a leitura. Os conceitos, então, são instrumentos do pensamento, artificialmente construídos, tais como as chaves de parafusos, são instrumentos que servem para abrir um motor, o qual nada tem a ver com chaves de parafusos; são escadas, pelas quais subimos a uma casa eternamente fechada (KAHN, 1963). Tendo em vista a crítica de Kahn com respeito ao conhecimento científico, constatamos sua concordância com a epistemologia bachelardiana, onde o conhecimento da Física se constrói através da dialética entre o racionalismo e o realismo. É bem verdade que grande parte dos professores e alunos, desconhece os fundamentos epistemológicos da Física Moderna e Contemporânea, naquilo no que diz respeito à construção de seus conceitos. Disso resultam as dificuldades no ensino/aprendizagem desta ciência. Foi pensando então na melhoria do quadro lastimável do ensino/aprendizagem existente em grande parte de nossas Universidades e Escolas Secundaristas, que elaboramos aqui um estudo ontológico, epistemológico, semântico e metodológico da Ciência Física.

2 FÍSICA: ONTOLOGIA, EPISTEMOLOGIA, SEMÂNTICA E METODOLOGIA

A Física, partindo dos fenômenos, se desenvolve construindo seus conceitos, seus modelos, suas teorias:

- *Semanticamente*, os significados dos termos teóricos (conceitos), são dados implicitamente pela rede de princípios ou significados na qual estão contidos, ou seja, um conceito como o de campo eletromagnético somente pode ser descrito ou entendido dentro da teoria eletromagnética, o que é o campo em si, a ciência física desconhece;

- *Ontologicamente*, então, dizemos que a Física não conhece em si os objetos de seu estudo, mas suas relações, as estruturas matemáticas na qual estão inseridos. Ignorando, assim, a realidade, a Física toma contato apenas com os fenômenos (o observável) a partir dos quais constrói seus conceitos.

Foi Francis Bacon que estabeleceu o aforismo: *Naturam renuntiando vincimus* (pela renúncia vencemos a natureza): ou seja, somente quando renunciamos ao conhecimento do que seja a Natureza em sua essência, surge a possibilidade de elucidar seus mistérios e colocar suas forças a nosso serviço. A partir deste aforismo se verifica o surgimento da tendência construtiva da ciência moderna: daí então a Física se afastando da metafísica, deixa de buscar a concepção ontológica da realidade.

Este método paradoxal, então, de penetrar nos segredos da Natureza mais e mais profundamente, renunciando a responder às questões que sempre tinham sido propostas, sempre se mostrou frutuoso. Aí está o ponto em que a maneira especificamente matemática de pensar desempenhou seu papel. A *renúncia* tem por consequência uma *limitação* de respostas possíveis sobre a Natureza, e, somente com esta limitação (a impossibilidade de dar diversas respostas), ela se deixa precisar matematicamente.

- *Epistemologicamente*, a construção dos conceitos físicos se dá através da dialética entre o racionalismo e o empirismo, entre teoria e prática. Assim, a partir do momento em que se medita

na ação científica, apercebemos-nos de que o empirismo e o racionalismo trocam entre si infindavelmente os seus conselhos. Nem um e nem outro, isoladamente, basta para construir a prova científica. Contudo, o sentido do *veter* epistemológico parece-nos bem nítido. Vai seguramente do racional ao real e não, ao contrário, da realidade ao geral, como o professavam todos os filósofos de Aristóteles a Bacon. Em outras palavras, a aplicação do pensamento científico parece-nos essencialmente realizante (BACHELARD, 1978).

(...) É, portanto, na encruzilhada dos caminhos que o epistemólogo deve colocar-se: entre o empirismo e o racionalismo. É aí que ele pode apreender o novo dinamismo dessas filosofias contrárias, o duplo movimento pelo qual a ciência simplifica o real e complica a razão. Fica então mais curto o caminho que vai da realidade explicada ao pensamento aplicado. É nesse curto trajeto que se deve desenvolver toda a pedagogia da prova, pedagogia que é a única psicologia possível do espírito científico. (...) A ciência, soma de provas e experiências, de regras e de leis, de evidências e de fatos, necessita, pois, de uma filosofia de dois polos. (BACHELARD, 1978). Exemplo prático disto é o *Salto da Ideia* de Einstein.

- *Metodologicamente*, a Física observa os fenômenos através de experiências, experimentalmente bem elaboradas, analisa as propriedades físicas presentes nestes fenômenos e - conseguindo isolar as principais grandezas envolvidas -, procede a matematização destas elaborando, então, as leis fenomenológicas e as teorias fundamentais: aplica, assim, inexoravelmente, o método científico no seu trabalho de pesquisa. (...) Entre o fenômeno científico e o número científico se tem uma dialética que, após algumas retificações dos projetos, tende sempre a uma realização efetiva do número. A verdadeira fenomenologia científica é, portanto, essencialmente uma fenomenotécnica. (BACHELARD, 1978).

3 A FÍSICA MODERNA SE TRANSFORMOU EM MATEMÁTICA

Quando da *medida* da hipotenusa do Triângulo Retângulo Isósceles, o Mundo Grego Antigo desabou: isto se deu por causa da descoberta dos incomensuráveis e a conseqüente constatação do *infinito* nas medidas. Assim, a matemática grega incapacitada de lidar com tais medições, favoreceu a ruína da Visão de Mundo dos pitagóricos a qual era vigente nesta época. Daí, então, Platão, tentando por ordem na “casa”, fez nascer o mundo das Ideias; estabelecendo assim a dicotomia entre Idealistas e Materialistas. Aristóteles, fazendo oposição ao mestre, era materialista. Foi, então, a partir de uma simples medida dos catetos e da hipotenusa de um triângulo, que se gerou toda uma controvérsia entre idealistas e realistas, entre espiritualistas e materialistas, entre teoria e prática, que se estendeu até os nossos dias. Entretanto, com Newton, Leibniz e a fundamentação dos números reais, temos a superação de tal controvérsia e, finalmente, o pitagorismo definitivamente é adotado pela ciência na modelagem matemática da Natureza.

Hoje, novamente, por conta de uma problemática gerada pelas *medidas* da posição e do momento do elétron em dado experimento físico, temos uma nova reviravolta com relação a Visão de Mundo consagrada pela comunidade científica atual e fundamentada na Física Clássica. Ou seja, a realidade ao nível atômico é segundo um novo paradigma dado pela Mecânica Quântica: na “interpretação de Copenhagen”, mesmo a oposição tradicional entre *idealismo* e *realismo* não pode mais ser empregada e as teorias tradicionais do conhecimento fracassam. Ao nível dos quanta, portanto, no processo de *medida*, dar-se a problemática do observador (que mede) e do observado (o objeto medido): ou melhor, a dicotomia espírito/matéria, alma/corpo, observador/observado, iniciada com Platão e sacramentada por Descartes,

está fadada ao fracasso. Então, de acordo com as conclusões de Heisenberg, defensor genial da ortodoxia quântica, qualquer modelo explanatório que possamos construir da realidade só pode ter a finalidade duma melhor compreensão, representando apenas uma especulação. Os processos que se verificam no tempo e no espaço de nosso ambiente diário são propriamente o real e deles é feita a realidade de nossa vida concreta. Entretanto, “quando se tenta, diz Heisenberg, penetrar nos pormenores dos processos atômicos que se ocultam atrás desta realidade, os contornos do mundo *objeto - real* se dissolvem não nas névoas de uma nova imagem obscura da realidade, mas na clareza diáfana de uma *matemática* que conecta o possível (e não o “factual”) por meio de suas leis” (BECKER, 1965).

Assim, a Física Moderna transformou-se em matemática... Na concepção de Heisenberg, aperfeiçoado o seu cálculo matricial sobre bases estritamente probabilísticas, cada átomo seria representado por uma matriz e o movimento dos elétrons no interior do átomo poderia ser representado por outra matriz. Assim, a especial circunstância de que a matéria parece reduzir-se ao mero cálculo matemático, estabeleceu que, pela primeira vez na História da Ciência, a *imagem* fosse varrida por completo da Física. Com o cálculo de matrizes a matéria já não é partícula nem onda nem nenhuma outra coisa susceptível de descrição, mas aquilo que cumpre um puro esquema matemático regido pelos *princípios de simetria*. Em outras palavras, a Física Moderna desmaterializou a matéria.

4 EPISTEMOLOGIA BACHELARDIANA

A ciência não é completamente *transparente*, nem mesmo para aqueles que a fazem. O que torna científico um conhecimento? O que caracteriza a abordagem da realidade feita pela ciência? Como entender o progresso em ciência? Todas estas e

outras questões são obscuras ao nível da ciência positiva e legitimam outro nível de análise, que é o da epistemologia. Situando-se neste nível, o presente artigo trata de alguns conceitos da epistemologia bachelardiana.

Para Gaston Bachelard - considerado o filósofo da desilusão, cuja marca central é o permanente recomeçar -, não existem verdades primeiras, *apenas erros primeiros*. O autor confere primazia ao erro e a sua retificação, ao invés da *verdade* na construção do conhecimento científico. Assim, é preciso errar em ciência, pois o conhecimento científico somente pode ser construído pela retificação destes erros.

A partir da própria concepção do significado de epistemologia para Bachelard, se podem depreender algumas de suas mais importantes ideias como: a ruptura epistemológica, a vigilância, a noção de obstáculo epistemológico e a importância da retificação do erro para o avanço da ciência.

A noção de *ruptura epistemológica* é um importante conceito tratado por Bachelard e está diretamente ligada à noção de retificação dos erros, na medida em que o conhecimento ocorre sempre contra um conhecimento anterior, retificando o que se considerava sabido e sedimentado. Por isso, não existem verdades primeiras, apenas os primeiros erros: a verdade está em devir (...) o que sabemos é fruto da desilusão com aquilo que julgávamos saber; o que somos é fruto da desilusão com o que julgávamos ser (MONTEIRO; MUNHOZ; BERTHOLINI, 2012).

O conceito de ruptura na obra bachelardiana representa a preocupação com o avanço do conhecimento científico por um caminho correto e, representa também, a não banalização do conhecimento produzido. Para garantir a não cristalização do conhecimento e manter crítico o espírito científico, torna-se ne-

cessária, assim, a noção de vigilância. Uma postura de *vigilância epistemológica* seria responsável, então, por garantir um eterno recomeçar demandado pelo verdadeiro espírito científico.

O conceito de *obstáculo epistemológico* surge do reconhecimento da existência de forças de resistência ao processo de ruptura entre o conhecimento comum e o conhecimento científico. Os obstáculos epistemológicos são espécies de forças anti-rupturas, pontos de resistência do pensamento ao próprio pensamento, um instinto de conservação do pensamento. Assim, com o objetivo de manter a continuidade do conhecimento, a razão, acomodada ao que já conhece, resiste à retificação dos erros, possibilitando o surgimento dos obstáculos epistemológicos (MONTEIRO; MUNHOZ; BERTHOLINI, 2012).

Bachelard classificou o senso comum como um obstáculo ao conhecimento científico, uma vez que ele está preso ao aparente, à experiências primeiras e à generosidade. Classificou-o como um obstáculo epistemológico que pode ser estudado tanto no desenvolvimento histórico do pensamento científico como na prática da educação. Não obstante, tal obstáculo, segundo as pesquisas vygotskianas, atestam que não é da erradicação do senso comum que se estabelece o conhecimento científico, mas sim, da mutação dele.

Fica óbvio que existe a necessidade imperativa, em educação, da superação deste obstáculo para que o estudante possa efetivamente aprender. Tal superação equivale a uma *ruptura* com o senso comum, e é sempre precedida de atos pedagógicos. Bachelard foi o primeiro a utilizar esse termo para indicar uma descontinuidade entre o conhecimento comum e o conhecimento científico.

Evidentemente que ninguém mais que este filósofo insistiu na ruptura entre o conhecimento usual e o científico, fato

que o levou a afirmar que as Ciências Físicas e Químicas, em seu desenvolvimento contemporâneo, podem ser caracterizadas epistemologicamente como domínios de pensamentos científicos que rompem nitidamente com o conhecimento vulgar (SOBRINHO; FROTA, 1998).

5 METODOLOGIA

A metodologia adotada em nosso estudo possui um caráter qualitativo e interpretativo. A experimento apresentado neste trabalho, então, trata de um estudo de campo sob caráter exploratório realizado numa turma do curso de Especialização em Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará ao longo do ano de 2009: esta turma, média de 20 alunos, era formada por professores - licenciados em Física -, da rede pública e privada de ensino.

Optando, então, por realizar nossa pesquisa científica através da observação, tivemos o máximo de cuidado para, com a nossa presença, não provocar alterações no comportamento dos observados, destruindo a espontaneidade dos mesmos e produzindo resultados pouco confiáveis. Nossa observação foi não-estruturada, participante e simples: permanecemos alheios ao grupo ou situação que pretendíamos estudar, observando de maneira espontânea os fatos que aí ocorriam; neste procedimento fomos muito mais um espectador que um ator.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dinâmica de nosso trabalho, embasada na observação participante, a qual nos permitiu captar as palavras de esclarecimentos que acompanhavam o comportamento dos observados, segue o relato de nossas experiências e a de nossos colegas ao

longo do curso de especialização: tudo no sentido de analisar a influência do senso comum - tomado como um obstáculo epistemológico - em nossas discussões.

Resultou, então, de nossa pesquisa, a verificação de um forte uso inconsciente do senso comum, tanto pelos docentes como pelos discentes, de tal forma que a interpretação dos fatos concretos por estes estava ainda fundamentada no realismo ingênuo:

Albert Einstein, em seu livro “A Evolução da Física”, nos revela a causa da grande confusão que todos fazemos entre representação e realidade quando nos confrontamos com os conceitos da física moderna. Desde criança, diz Einstein, desenvolvemos um forte condicionamento, causado pelo realismo ingênuo, segundo o qual, quando observamos um dado objeto, somos levados, naturalmente, a tomarmos o fenômeno pelo objeto real (“a coisa em si” de Kant). Este realismo ingênuo, podemos dizer, é fruto do senso comum: principal obstáculo epistemológico definido por Bachelard. *Os alunos da especialização também se utilizavam do realismo ingênuo citado por Einstein: quando um colega nosso nos relatou que seus alunos do Ensino Médio lhes perguntavam o que era um campo eletromagnético “mesmo” e ele não tinha a menor idéia de como lhes explicar, verificamos aí o realismo ingênuo, produto do senso comum.*

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aqui fizemos um recorte de uma pesquisa mais ampla - a nossa monografia de conclusão do curso de Especialização em Ensino de Física (UFC) – na qual se analisa, sob vários aspectos, as dimensões do conhecimento físico, suas relações com o ensino e com a aprendizagem, no intuito de se superar os obstáculos epistemológicos.

Verificamos, portanto, que um estudo esclarecedor sobre os aspectos ontológico, epistemológico, semântico e metodológico da Física - principalmente, da Física Moderna e Contemporânea -, é decisivo no contexto do ensino/aprendizagem e no planejamento da aula. Obstáculos epistemológicos geram erros conceituais, pois, aquilo já conhecido pelos alunos - sejam concepções e percepções do cotidiano ou concepções científicas -, resulta por guiar a interpretação dos fenômenos e dos objetos de estudo, e impedem a correta compreensão/construção do novo conhecimento.

Dado termos elaborado aqui apenas um recorte de uma pesquisa mais ampla, os resultados e considerações, apresentadas no presente trabalho, são limitados, mas já mostram uma necessidade de reconhecimento e superação dos obstáculos epistemológicos os quais podem ser vencidos através de um estudo profundo sobre como a Física constrói seus conceitos e teorias.

Nossa pesquisa continua em andamento: esperamos levar aos professores/alunos de licenciatura esclarecimento maior sobre a Epistemologia da Física, favorecendo, assim, a capacidade de lidar com os obstáculos epistemológicos. Então, com a categorização dos variados tipos de obstáculos epistemológicos, investigar a relação entre eles, e reconhecer melhor as formas de superação: ainda, na elaboração da epistemologia bachelardiana, utilizaremos mapas conceituais (MONTEIRO; MUNHOZ; BERTHOLINI, 2012).

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACHELARD, G. **O Novo Espírito Científico**. Rio de Janeiro: Editora Abril Cultural, 1978.

BECKER, O. **O Pensamento Matemático**. São Paulo: Editora Herder, 1965.

CASTRO, R. Fonteles. **Física: Epistemologia e Ensino**. 2011. 142 f. Monografia (Especialização em Ensino de Física) – Curso de Física, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

KAHN, F. **O Livro da Natureza**. 4. Ed. São Paulo: Edições Melhoramentos, 1963.

MONTEIRO, L. A., MUNHOZ, D., BERTHOLINI, F. **Bachelard e a Epistemologia Histórica**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/2012_EPQ2141.pdf>. Acesso jan. 2015.

SOBRINHO, J. A. C. M.; FROTA, P. R. O. **Ensino de Ciências: Texto e Contextos**. Florianópolis: Marte Editora, 1998.

O uso de histórias em quadrinhos para o ensino de física

Alessandro José Azevedo de Souza, Thaylane Caula da Silva Martins,
Victória Santos das Neves e Raphael Victor Barros Campos

RESUMO

O presente trabalho irá tratar do uso das HQs ou histórias em quadrinhos como é mais conhecida, como ferramenta facilitadora no ensino da física, e através desse método exercitar e trabalhar o lado lúdico e criativo do educando despertando, assim, o interesse do aluno. Partindo do pressuposto de que o conteúdo de Física é considerado muitas vezes como algo complicado, árduo e cansativo, onde educadores ficam presos a aplicações de fórmulas, deixando muitas vezes de fazer conexões com a realidade, criando quase sempre uma barreira entre o aluno e a disciplina, muitas vezes até mesmo antes de estudar a matéria durante o período escolar, mas já sabendo que contém cálculos, fórmulas e interpretações matemáticas. Dessa forma ficou evidente a necessidade de pensar e criar novas ferramentas de metodologia de ensino, como facilitadoras da aprendizagem. Considerada como uma forma de comunicação e linguagem, as histórias em quadrinhos podem ser aplicadas com finalidade didática no ensino de física, fugindo, então, dos padrões tradicionais. A metodologia faz uma aproximação a um embasamento teórico, dividido em duas partes: Histórias em quadrinhos: uma ferramenta na física; e o lúdico no aprendizado. Propondo uma mudança de linguagem na introdução do ensino de Física, foi trabalhada em um primeiro momento a produção da arte, para posteriormente fazer uma interligação com conceitos básicos e fundamentais da Física que foram propostos, seguida da formulação matemática que é a conhecida e que boa parte dos educandos temem. Contudo, através de debates e produção de ar-

tes sequenciais houve mudanças nesses quadros não só transformando, portanto, a visão dos alunos sobre os conteúdos trabalhados, que antes os assustavam, mas também, por fim, transformando e concretizando uma base introdutória. Dessa forma, as aulas de Física que usam como recurso didático as HQs, propõem uma reforma no processo de ensino e aprendizagem.

Palavras-chave: Histórias em quadrinhos, Metodologia de ensino, Artes.

1. INTRODUÇÃO

A temática da contextualização como estratégia facilitadora da aprendizagem dos diferentes conteúdos escolares tem sido tema recorrente nos debates educacionais. Verifica-se que um dos grandes obstáculos no ensino de Física nas escolas, é sincronizar conhecimento escolar e o cotidiano do aluno. Essa falta de harmonia gera um distanciamento do professor e do aluno, bem como, dificulta o processo de ensino-aprendizagem. Portanto, o trabalho foi elaborado com o objetivo de encontrar novas metodologias de ensino na disciplina de Física, além de exercitar o lado criativo dos estudantes.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho observará as orientações das regras básicas da pesquisa qualitativa, descritiva e experimental. A execução do trabalho aconteceu com 3 turmas do primeiro ano do ensino médio da escola EEFM Estado do Amazonas. O critério para a escolha da série deu-se pelo fato dos estudantes estarem realmente começando a ver a Física aprofundada.

No primeiro momento, dividimos as turmas em grupos de 3 alunos cada, ou seja, trios. Em seguida, explicamos como a atividade iria acontecer. Cada equipe ficou responsável por determinado assunto de Física que eles já haviam estudado, ou iriam estudar adiante - no decorrer do primeiro ano. Separados os assuntos, deu-se início a uma oficina de desenho antes da aplicação no ensino. Foram ministradas oficinas de composição, produção da arte e do quadrinho, como mostra a Figura 1. Logo, as equipes produziram pequenas histórias em quadrinhos como na com o conteúdo de Física determinado por seus orientadores. Na figura 2,3 e 4, é mostrado alguns trabalhos produzidos por duas das equipes com os desenhos dos alunos, e arte final de um dos autores do artigo para facilitar a digitalização.

A etapa seguinte foi fazer com que os alunos explicassem os conteúdos em questão e o porquê de optarem por determinada história. Ao final de cada apresentação explicamos os conteúdos, fenômenos e leis de Física que foram abordados por cada equipe.

Figura 1- Oficina de Desenho



FONTE: Alessandro Souza

FONTE: Alessandro Souza

Fonte: Próprio autor.

Figura 2 - Trabalho equipe 1

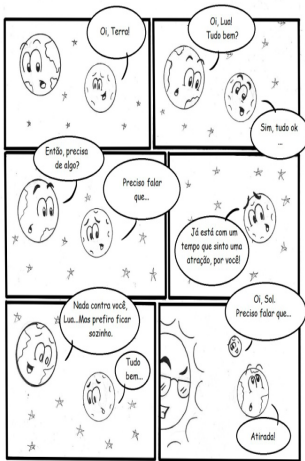
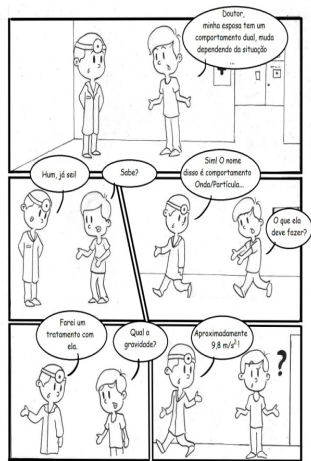


Figura 3 - Trabalho equipe 3



Fonte: Próprio autor.

Figura 4- Trabalho equipe extra



Fonte: Próprio autor.

3. HISTÓRIAS EM QUADRINHOS: UMA FERRAMENTA NA FÍSICA

O Quadro atual do ensino de física é alarmante, ainda é comum toda aquela ideologia tradicional de estudar fenômenos físicos apenas com a figura do professor diante dos alunos, explicando o conteúdo sem usar nenhum recurso didático além do pincel e do quadro. O método que é mais fácil de ser visto em sala de aula é o da repetição em que o objetivo é resolver uma vastidão de questões e, conseqüentemente, memorizar fórmulas devido ao trabalho repetitivo e exaustivo, deixando de lado o fenômeno em si. Por exemplo, ministrar o tópico de mecânica se restringindo ao espaço de sala de aula, à aplicação de fórmulas e à questões é se limitar a modelos nada agradáveis de ensinar. Assim é necessária a introdução de ferramentas pedagógicas com a finalidade de ampliar os horizontes do ensino da disciplina, dentre elas estão às histórias em quadrinhos. Porém deve-se ter cuidado com o manuseio e com o objetivo com que se usa o aparato pedagógico, de acordo com VERGUEIRO (2009)

A utilização dos quadrinhos na educação ainda necessita de reflexões que subsidiem práticas adequadas e levem a resultados concretos em relação ao aprendizado. Ter álbuns e revistas de quadrinhos disponíveis nas salas de aula ou nas bibliotecas escolares não implica, necessariamente, no uso correto do material por parte dos professores. É sempre bom lembrar que as histórias em quadrinhos são produzidas para públicos diferenciados (infantil, adolescente ou adulto) e, portanto, não podem ser usadas indiscriminadamente. (p. 84)

Dessa forma, fica evidente o papel do professor como mediador entre a ferramenta e o uso adequado e eficaz na produção do conhecimento.

3.1 HISTÓRIAS EM QUADRINHOS E EDUCAÇÃO

A cada dia se torna mais comum ao abrir um livro didático se deparar com algumas tirinhas ou imagens que tendem a trabalhar com a interpretação de algum assunto inserido na escola, porém todo esse espaço conquistado pela arte se deu a passos curtos e demorados. Na história da educação brasileira, a inserção da linguagem artística foi bastante repudiada, Waldomiro Vergueiro (2004) fala sobre essa “briga” nas primeiras tentativas de introdução no ensino.

Pais e mestres desconfiavam das aventuras fantasiosas das páginas multicoloridas das HQs, supondo que elas poderiam afastar crianças e jovens de leituras “mais profundas”, desviando-os assim de um amadurecimento “sadio e responsável”. Daí, a entrada dos quadrinhos em sala de aula encontrou severas restrições, acabando por serem banidos. (p. 8)

No Período da segunda guerra mundial os quadrinhos começaram a ganhar força, aproveitando todo aquele cenário decorrente da guerra, já que foram surgindo heróis que combatiam a ideologia pregada por militares e políticos da época. No livro *A sedução dos inocentes* de Fredric Wertham, que teve um nome de peso devido a seu cargo no maior hospital psiquiátrico de Nova York, conseguindo assim convencer facilmente a massa, aborda essa questão do crescimento das HQs entre os adolescentes, e passa afirmar determinadas anomalias comportamentais influenciadas pela leitura que esses jovens faziam dos quadrinhos. Devido ao trabalho de Fredric, nos Estados Unidos a sociedade passou a temer o conteúdo das HQs, dessa forma foi exigido um acompanhamento rígido sobre essa produção de quadrinhos. Iniciou-se, assim, um declínio no mundo da nona arte, regado por selos estampados na capa das revistas e seguido de normas

éticas, criadas também aqui no Brasil por algumas editoras e que deveriam ser obedecidas. Por fim, é possível notar, nesse ponto, que as histórias em quadrinhos e a educação caminhavam em direções bem distintas e o mais separado possível.

Porém todo esse ideal foi se extinguindo aos poucos e a educação começou a fazer lentamente seus laços com as HQs. Visto que toda essa crítica ao quadrinho não tinha de fato um fundamento válido, o crescimento e aquela visão errônea e precipitada foram se dispersando. Atualmente no Brasil, o trabalho pedagógico e lúdico que quadrinhos exercem já é reconhecido como uma ferramenta de ensino e regulamentada pela LDB (Lei de Diretrizes e Bases) e PCNs (Parâmetros Curriculares Nacionais).

No Livro Will Eisner, intitulado como *Quadrinhos e Arte Sequencial*, fala sobre uma das principais e fundamentais funções dos quadrinhos: comunicar uma ideia. Porém pro outro lado uma das funções da educação é criar ideias, logo é notável o quanto se pode associar um como recurso do outro

4. O LÚDICO NO APRENDIZADO DE FÍSICA

A Física é uma ciência impressionante e capaz de explicar os diversos fenômenos naturais. No entanto, é visível o desinteresse e a dificuldade dos alunos com essa disciplina. Diversos são os fatores que contribuem para esse quadro, no sistema escolar vigente, a Física é ministrada de forma isolada, sem interação com outras disciplinas, e grande parte dos professores a tratam apenas como uma matéria estritamente de cálculos matemáticos. Shor, em seu livro-diálogo com Paulo Freire aponta uma provável razão pela desmotivação dos estudantes em sala de aula:

Os estudantes são excluídos da busca. As respostas lhes são dadas para que as memorizem. O conhecimento lhes é dado como um cadáver morto de informação – um corpo morto de conhecimento – e não uma conexão viva com a realidade deles. Hora após hora, ano após ano, o conhecimento não passa de uma tarefa imposta aos estudantes pela voz monótona de um programa oficial. (Shor, 1987, p. 17)

Neste trabalho, apresentamos uma forma de abordar a Física através do lúdico. O objetivo principal deste artigo foi entender como se constrói o conhecimento em física através de atividades lúdicas, mais precisamente a construção desse saber por meio das histórias em quadrinhos, visando buscar o interesse dos estudantes.

A palavra lúdico vem do latim *ludus* e significa brincar. Neste *brincar* estão incluídos os jogos, brinquedos e divertimentos e é relativa também à conduta daquele que joga que brinca e que se diverte. Por sua vez, a função educativa do jogo oportuniza a aprendizagem do indivíduo, seu saber, seu conhecimento e sua compreensão de mundo.

As HQs se enquadram na perspectiva de jogo lúdico por ser uma atividade livre e voluntária; é passível de repetição; cria ordem e é ordem; segue regras livremente consentidas; tem tempo e espaço definidos e limitados. As histórias em quadrinhos por puxar, em grande parte, um lado humorístico, com regras de leituras e sistema linguístico próprias, ela não se priva de jogar com seus personagens.

O desafio foi uma ferramenta de grande utilidade para construção do saber físico através de quadrinhos. Ele esteve inserido na elaboração explícita de uma situação problema que teve de ser resolvida, ou previu situações imprevistas e infortunistas em um contexto definido, ou melhor, ainda com ambos, uma história em quadrinho que propôs em seu contexto um desafio.

A atividade lúdica está relacionada com a questão do desafio. Segundo Ramos, o desafio serve para provocar interesses que podem estar envolvidos em problemas corriqueiros ou colocados claramente ao sujeito:

É o caso de Édipo, frente a Esfinge, que lhe perguntou: “O que é que tem uma vez quatro patas, depois tem duas e depois tem três? Decifra-me ou devoro-te!” Em geral, os desafios (charadas problemas), que encontramos, não são colocados de maneira tão drástica como fez a Esfinge, mas são suficientes para gerar um interesse em procurarmos solução (...) podemos lançar mão desta prática, através de conteúdos que envolvam a Física, tomando o cuidado de não transformas essa prática em mais uma forma artificial para o ensino. (p. 33)

Uma história em quadrinho, não conseguiria tratar o mundo físico com o rigor científico em que ele realmente se enquadra. Pois as HQs possuem uma linguagem própria e simples. Ela não deve ser usada exclusivamente para ensinar Física, mas deve ser vista como um meio de grande importância para o melhor entendimento do conteúdo passado, tornando-se, dessa forma, um referencial de conhecimento conceitual e teórico.

Para isso, é preciso que o educador entenda que haverá dificuldades e obstáculos no cotidiano com o uso dessa ferramenta. Ao conseguir inserir as HQs na rotina do aluno, estaríamos conseguindo levá-los ao mundo da Física de forma fácil, simples e divertida. E alcançaríamos maiores e melhores resultados, já que estaríamos trabalhando com a criatividade de cada estudante. Vale ressaltar, que os níveis de dificuldades para cada desafio, teriam que condizer com o conhecimento adquirido por cada aluno no decorrer das atividades.

A aquisição do conhecimento físico, não é tão fácil de mensurar, o processo de ensino-aprendizagem é algo lento e gradual, cada aluno tem seu ritmo, e isso precisa ser tratado com paciência e respeito. Para isso, o professor precisa estar preparado para receber todo o tipo de aluno.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

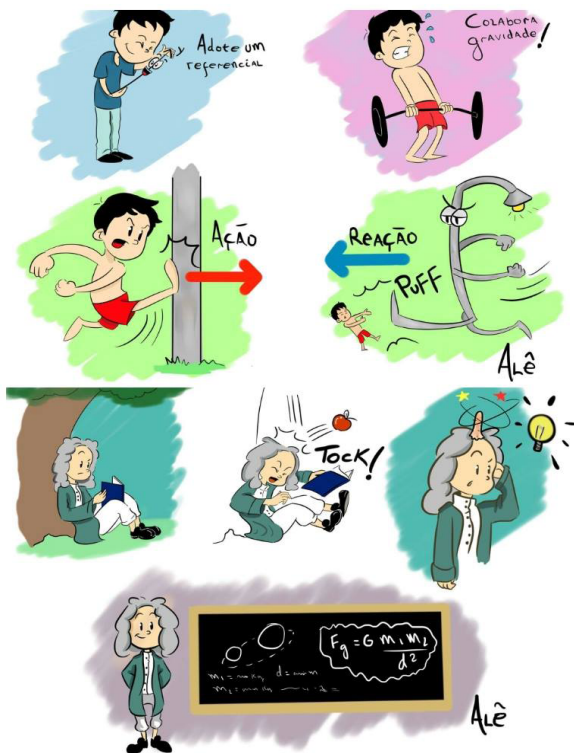
A vontade e o empenho de inovar o ensino, promovem uma maior interação dos envolvidos, uma vez que aprender Física se dá por parte de forma ascendente e espontânea, é possível obter resultados satisfatórios apenas com mudança no processo metodológico.

Com base nessas ideias foi possível notar a importância da introdução de atividades lúdicas, os alunos assimilaram o conteúdo de forma mais concreta, diferente de casos do qual o aluno estuda apenas durante o período de prova e depois do teste o conteúdo é esquecido e com o tempo se dissipa, mostrando a fragilidade no aprendizado. O aprender não é limitado, porém deve ser concreto e imune ao tempo, que desperte o lado reflexivo com o objetivo de melhorar ainda mais a forma com que se faz determinada atividade, é descobrir estratégias. Como já mencionado, o discente precisa estar preparado pra lidar com obstáculos que aparecem no processo de aprendizado.

A sala de aula deve ser recinto de troca de ideias e de conhecimento, onde o professor deve ser o mediador entre o saber que está disponível e o aluno, é estimular o discente na busca de informação, podendo assim tornar a Física um conteúdo mais prazeroso e interessante de se aprender.

Alguns exemplos de artes sequenciais foram produzidos pelo autor do artigo para servir de exemplo na interligação do quadrinho com a Física, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Conceitos Físicos



6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Paulo Nunes de. Educação Lúdica - Técnicas e Jogos Pedagógicos. 6ª Ed. _ Rio de Janeiro: Loyola, 2003.

CARVALHO, Djota. A educação está no gibi. Campinas: Papyrus, 2006.

EISNER, Will. Quadrinhos e arte sequencial. São Paulo: Martins Fontes, 1989.

FREIRE, Paulo. Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996. (Coleção leitura).

MENDONÇA, Márcia. Ciência em quadrinhos: imagem e texto em cartilhas educativas. Recife: Bagaço, 2010.

TESTONI, Leonardo André. Um Corpo que Cai: as histórias em quadrinhos no Ensino de Física/Leonardo André Testoni; orient. Maria Lúcia Vital dos Santos Abib. São Paulo: s.n., 2004.

VERGUEIRO, Waldomiro. Como usar as histórias em quadrinhos na sala de aula. São Paulo: Contexto, 2004.

VERGUEIRO, Waldomiro. Quadrinhos e educação popular no Brasil: considerações à luz de algumas produções nacionais. In: VERGUEIRO, Waldomiro; RAMOS, Paulo (Org.). Muito além dos quadrinhos: análises e reflexões sobre a 9ª Arte. São Paulo: Devir, 2009.

RESUMO SIMPLES

A compreensão dos fenômenos celestes através do uso de artifícios didáticos em aulas de astronomia

Heliomárzio Rodrigues Moreira

RESUMO

A experiência de mais de vinte anos lecionando Física e Astronomia em escolas da rede particular de ensino, cursos para formação de professores e cursos de Extensão em Astronomia no Instituto Federal de Educação, Ensino e Tecnologia do Ceará, o IFCE, assistindo aulas e seguindo orientações de astrônomos e divulgadores cearenses da Astronomia já consagrados, como Rubens de Azevedo, Cláudio Pamplona e Dermeval Carneiro, aliados às disciplinas pedagógicas do Curso de Licenciatura em Física no referido Instituto, levaram à elaboração de modelos em *kits* educacionais e artifícios didáticos para serem usados em aulas de Física e Astronomia. Alguns fenômenos astronômicos que antes pareceriam abstratos ao estudante podem ser facilmente compreendidos com o uso de alguns modelos astronômicos tridimensionais e o seu uso em aulas do Ensino Fundamental e Ensino Médio, desenvolvendo suas habilidades e competências. Conceitos como esfera celeste, fases da Lua, estações do ano, configurações planetárias, tempo solar verdadeiro, tempo solar médio, tempo sideral, leis de Kepler, dentre outros, podem ser explicados por meio desses modelos tridimensionais, teatralizações e o uso de materiais simples e de fácil aquisição, familiares ao cotidiano dos participantes. Objetivando a maior compreensão de conceitos sobre fenômenos astronômicos, foi desenvolvido um estudo de campo em aulas envolvendo a Astronomia onde a metodologia empregada comparava as aulas expositivas, com base no *feedback* dos alunos, e uma segunda aula usando os modelos tridimensionais ou as teatralizações, na busca da maior compreensão dos mesmos fenômenos apresentados nas aulas

expositivas. Uma estratégia complementar envolvia a problematização sobre os fenômenos e o envolvimento dos participantes em pesquisas e observações astronômicas relacionadas com os conceitos vistos nas aulas teóricas e desafios culturais. Teóricos como Piaget, Vygotsky e David Ausubel nortearam a elaboração das aulas com base no Sócio-interacionismo e a Aprendizagem Significativa. O material e as estratégias empregados podem ser mostrados em um minicurso para os presentes, que podem estender aos seus alunos em aulas curriculares ou a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA) e a Olimpíada Brasileira de Física (OBF).

Palavras-chave: Modelos tridimensionais. Teatralizações. Estratégias. Aulas.

Aplicação de jogos didáticos para auxiliar no ensino de física

João Vitor da Costa Marques, Bruna Pamela dos Reis Souza e
Stefânia de Araújo Ferreira

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido como uma das atividades do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência – PIBID e teve como objetivos elaborar, confeccionar, avaliar e divulgar jogos didáticos que auxiliem na compreensão e aprendizagem dos conteúdos de física, destacando práticas educacionais que possam servir como ferramentas potencialmente significativas no aprendizado, tanto em espaços formais de ensino (escolas), quanto em espaços informais. A ferramenta criada para auxiliar no processo de ensino aprendizagem foi o Jogo de tabuleiro “Caminho para o Universo”, que tem como objetivo esclarecer algumas curiosidades sobre o vasto universo em que vivemos. Optou-se pela temática da astronomia para a elaboração de um jogo de caráter científico devido a experiência na área, o grande interesse dos alunos sobre tal assunto e a pequena abordagem que é feita pelos professores durante o ano letivo. A abordagem metodológica utilizada no desenvolvimento do trabalho foi de cunho qualitativo, onde o jogo foi aplicado á alunos do nível médio de duas escolas na cidade de Parnaíba, Piauí. A função educativa foi notada facilmente durante a aplicação do jogo, observando-se que ele favoreceu a propagação e retenção de conhecimento, através da descontração gerada pelo mesmo. Desta forma compreendemos que a união do caráter lúdico e cognitivo favorecem os alunos na compreensão dos conceitos físicos que muitas vezes são complexos e abstratos. Pelo exposto, compreendemos que os jogos didáticos merecem e precisam de um espaço na pratica pedagógica cotidiana dos professores. Como consequência de tal prática pedagógica, os estudantes poderão desenvolver maior interesse pela disciplina, gerando um melhor desempenho dentro da sala de aula.

Palavras-chave: Jogos Didáticos. Ensino Aprendizagem. Astronomia.

Difusão: uma proposta experimental para o ensino de ciências

Francisco Tiago Barboza Sampaio, Leonardo Tavares de Oliveira e
Célio Rodrigues Muniz

RESUMO

Os desafios encontrados no ensino de ciências, no tocante ao ensino de física, não é nenhuma novidade. Vários estudiosos do assunto têm discutido possibilidades de tornar o ensino de física mais acessível e atraente para os alunos, uma delas é o uso de práticas experimentais para fazer alusão aos conteúdos abordados em sala de aula. O presente trabalho apresenta uma proposta experimental que evidencia de forma macroscópica um efeito que acontece microscopicamente, a saber: a difusão. A difusão é o processo ou efeito de difundir, espalhar ou propagar, muito comum na natureza e tem várias aplicações em problemas de análises físicas. Um exemplo clássico de processos difusivos, muito comum na natureza, é o Movimento Browniano. Este descreve o movimento totalmente irregular de partículas imersas em um fluido e foi proposto por Robert Brown, em 1827. No entanto, o experimento desenvolvido, neste trabalho, foi obtido por analogia. Primeiramente, fez-se necessário uma ampla pesquisa bibliográfica acerca de processos difusivos e, em especial, o estudo e aplicações do Movimento Browniano. Utilizando um gerador de abalos mecânicos, fez-se uma lúcida adaptação para o caso de difusão, já que o gerador era utilizado para evidenciar conceitos de ondulações mecânicas. Em seguida, foi acoplada uma superfície de vidro, lugar onde as partículas do meio irão sofrer difusão aleatória. É importante destacar que analisamos tanto o caso unidimensional como o bidimensional. Por fim, destaca-se a importância do experimento como ferramenta lúdica para o ensino de processos difusivos, que pode ser aplicado, facilmente, em aulas de física e química.

Palavras-chave: Difusão. Experimento. Ensino.

Avaliação do Minicurso sobre Exploração Espacial nos séculos XX e XXI ministrado pelo CAIF- Clube de Astronomia do IFCE - Sobral

Mariana Teixeira de Castro, Ailton Santos da Costa e
Lucas Roberto do Nascimento

RESUMO

No século XVII, Isaac Newton afirmou ser possível a colocação de um objeto em órbita ao redor da Terra, se sua velocidade fosse suficiente para compensar a ação da força de atração do nosso planeta, esta afirmação abria a possibilidade de podermos finalmente viajar no espaço, conhecer novos mundos. Infelizmente, naquela época, não existiam foguetes de potência suficiente para vencer a gravitação da Terra, o que congelou este o sonho da conquista espacial por muito tempo. Com o desenvolvimento das teorias matemáticas sobre navegação espacial, surge a astronáutica como ciência. Atualmente, temos muito mais tecnologia do que há quatro séculos. Já mandamos milhares de satélites para o espaço e dezenas de sondas para outros planetas e até para um cometa recentemente, o homem estuda o solo do planeta marte ha anos, inclusive os solos de luas de júpiter e saturno. Mais porque ainda não visitamos outro planeta? Ou ainda não montamos uma nave gigantesca para viajarmos por décadas até outro sistema solar em busca de colonizá-lo? A Astronomia é um dos eixos de atuação do Programa de Educação Tutorial (PET) no Instituto de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) no campus de Sobral, nele tentamos fazer uma popularização dessa ciência, através de observações do Céu e por meio de palestras e minicursos de formação para professores e alunos a partir do nosso Clube de Astronomia (CAIF). Durante o mês de novembro deste ano, ministramos um minicurso denominado “Exploração Espacial nos séculos XX e XXI” com o objetivo de apresentar ao publico toda a história da conquista espa-

cial, como o homem navega no espaço na atualidade e quais seus planos em viagens espaciais para o futuro. Apresentaremos neste trabalho um pouco do minicurso e os resultados do mesmo.

Palavras-chave: Divulgação Científica. Astronomia. Exploração Espacial

OBA! Astronomia na escola: A divulgação da Astronomia nas escolas públicas no município de Ubajara.

Dênison Silva Gomes, João Victor da Silva e Pedro de Sousa Araújo

RESUMO

O referente trabalho foi desenvolvido com o intuito de divulgar a Astronomia nas escolas da rede pública na cidade de Ubajara, localizada na região norte do estado do Ceará. Com o objetivo de promover palestras, exposições científicas relacionadas aos temas dessa área pouco estudada, experimentos de baixo-custo, divulgar a escola na qual estudamos e principalmente promover eventos junto à sociedade ubajarense, motivar a participação dos alunos em feiras de ciências e olimpíadas e atender à demanda da população local nas questões relativas ao ensino de ciências e contribuir para o melhoramento de índice de rendimento escolar dos alunos da educação básica da rede pública. O trabalho trata-se de uma pesquisa-ação, na qual observamos que não existe incentivo no estudo dessa área em nossa cidade. Com isso, buscamos incluir aulas diversificadas, promovendo a aprendizagem de vários alunos. A aprendizagem significativa seria o passo inicial para que, no futuro, o estudante tenha prazer em aprender. A discente melhora aquilo que ele vivencia. Então, tudo o que essa ideia puder trazer da vida na sociedade, de casos que acontecem no dia a dia, é um fator potencialmente motivador. O mesmo aprende porque ele sente a necessidade da utilização para seu cotidiano. Através de pesquisas sobre alguns assuntos e o trabalho em torno do desenvolvimento intelectual a respeito da física juntamente com as novas tecnologias, iremos trazer para o dia a dia dos discentes uma visão de sociedade rica e renovável. Portanto, a nossa finalidade é abranger o conhecimento e inserir a Física e a Astronomia no dia a dia dos mesmos e melhorar o índice educacional.

Palavras-chave: Astronomia. Divulgação. Experimentos. Aprendizagem significativa.

O ensino de física moderna com ênfase em cosmologia para os alunos do ensino médio

Raiane Nogueira Silva e Hércules de Souza Santana

RESUMO

Esse trabalho é um projeto que propõe o ensino de física moderna e contemporânea para os alunos de ensino médio da rede pública, através da criação de minicursos na área da cosmologia. Nossa meta geral é introduzir aos alunos os conceitos básicos envolvendo física moderna e contemporânea, contextualizando a evolução dessa ciência ao longo dos anos e suas aplicações na atualidade. Para um tratamento mais pontual, objetivamos tornar o conhecimento acerca da cosmologia mais palpável, com o intuito de despertar nos alunos o interesse por essas novas áreas da física. Criaremos, para isso, um minicurso voltado para alunos do ensino médio das escolas públicas, com carga horária de duas horas por dia, dois encontros semanais no contraturno das aulas dos alunos, no período de quatro semanas. Para o ensino dos seguintes assuntos: princípio cosmológico, expansão cósmica e a lei de Hubble. Mostraremos também diversas pesquisas que estão sendo desenvolvidas na área, e faremos um elo entre a física que eles veem em sala de aula, para mostrar que, assim como há leis que se aplicam aos movimentos dos corpos na terra- física clássica, há também leis para o movimento dos corpos celestes, como por exemplo a astrofísica. Nos encontros utilizaremos além da abordagem conceitual, através de uma linguagem lúdica e longe do rigor matemático, ferramentas auxiliares, como software e vídeos complementares. Portanto, esperamos encontrar algumas dificuldades com relação a estrutura das escolas públicas, bem como com problemas envolvendo a dificuldade de compreensão por parte dos alunos, no entanto, contrapondo tudo isso, esperamos driblar essas dificuldades e,

ao final, fazer com que os alunos despertem seu interesse em relação ao assunto da física que abordaremos, bem como aos demais conteúdos da física moderna e que eles possam enxergar a aplicação desses conceitos em diversas áreas do cotidiano.

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

Viagem pelo Tempo e Espaço: Abordagem histórica e uso de simuladores no ensino de Física

Lucas Gomes Chaves, José Emanuel Andrade dos Santos e
Joelma Monteiro de Souza

RESUMO

O ser humano sempre buscou compreender o funcionamento do Universo. Desde a antiguidade se observou as estrelas, planetas, cometas para tentar desvendar os mistérios do espaço. Assim surgiu a Astronomia, ciência que estuda os corpos celestes e tenta entender a evolução do Universo. Sabemos que atualmente o ensino de Astronomia nas escolas não está sendo abordado de forma que instigue a curiosidade do aluno por esta área do conhecimento. Geralmente, isso ocorre por causa dos livros didáticos que não abordam essa área, ou por conta da carga horária limitada. O presente trabalho descreve as experiências dos alunos do curso de Licenciatura em Física da Universidade Regional do Cariri (URCA), que pertencem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação a Docência (PIBID). O trabalho propõe apresentar diversos fatos históricos da ciência como recurso metodológico para o ensino e aprendizagem em Física e Astronomia. Segundo Becker e Strieder (2011) o uso de simuladores para o ensino de conteúdos como os associados a Astronomia tem papel fundamental para a compreensão dos fenômenos, já que alguns eventos astronômicos podem confundir ou até mesmo iludir os observadores. Fazendo uso de simuladores, tais como: *Stellarium* e *Celestia*, buscamos despertar o maior entendimento do contexto histórico da Física e o interesse no campo da Astronomia. Será realizada uma oficina para os alunos do Ensino Médio da E. E. M. Tiradentes, no município de Juazeiro do Norte-CE.

Palavras-chave: Astronomia, Física, simuladores e contexto histórico.

A utilização do software stellarium como ferramenta de apoio ao ensino da astronomia

Daniel Rosendo de Oliveira, Francisco Wesley de Oliveira Mesquita e
Luiz Ozorio de Oliveira Filho

RESUMO

O presente trabalho tem como foco, relatar as experiências durante a utilização do *software Stellarium* como ferramenta inovadora no ensino-aprendizagem da Astronomia junto ao Clube de Astronomia, formado por alunos do 1º ano do Ensino Médio da escola CERE – Prefeito José Euclides Ferreira Gomes Júnior em Sobral/CE e bolsistas do Programa de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID) da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA). Dentre os principais interesses na aplicação do *Stellarium*, estava à preparação dos alunos para a realização da 19ª Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA) e a aplicação de uma nova metodologia para o ensino de Astronomia. A metodologia se deu por meio de reuniões e debates, na qual foi estabelecido o desenvolvimento de oficinas e atividades teóricas e práticas realizadas na própria escola durante o contra turno das aulas, seguido de um questionário aos alunos no intuito de obter opiniões dos mesmo frente ao uso do Stellarium. O questionário foi aplicado aos 16 alunos que compõem o Clube, e do levantamento feito pode-se perceber que (87,7%) qualificaram como ótimo o uso do Stellarium como importante ferramenta tecnológica no ensino de Astronomia, alegando ainda que o software é um veículo sumamente importante para a preparação dos alunos para a realização da OBA, por meio de vários aspectos, tais como o estudo de constelações, planetas e estrelas. Foi questionado também sobre a iniciativa dos bolsistas do subprojeto de Física do PIBID ao introduzir o Stellarium nas atividades do Clube de Astronomia, onde (100%) conside-

ram como ótima a iniciativa por parte dos bolsistas. Acreditamos que o uso do *software* foi importante ferramenta na formação dos estudantes, pois além do seu caráter formativo, interdisciplinar e motivador, conseguimos desenvolver atividades centradas nas deficiências dos discentes, facilitando a dinâmica entre os conceitos abordados.

Palavras-chave: Astronomia. PIBID. Stellarium.

A astronomia para o ensino médio, através da experimentação

Andréa Freire e José Fabrício Marques

RESUMO

Resumo: Este trabalho apresenta a experiência de aplicação do subprojeto sobre astronomia na E.E.M Monsenhor José Gerardo Ferreira Gomes, como estratégia de prepara-los pra provas da OBA e tentar suprir a falta de aulas práticas. O objetivo foi divulgar a astronomia e relacionar com disciplina de física, utilizar a experimentação como objeto de divulgação da astronomia promovendo interação entre a rede pública de ensino IFCE, através das ações dos bolsistas do PIBID na respectiva escola. A linguagem e os conteúdos foram elaborados de forma a abranger desde o ensino fundamental até o ensino médio. Esclarecer algumas perguntas tipos: Como manter e controlar um satélite em órbita. Por que os corpos queimam ao entrar na atmosfera terrestre? Por que os planetas possuem gravidades distintas? Os movimentos da fase da lua. Por que não sentimos o movimento da terra? A pesquisa dividiu-se em duas etapas o primeiro passo foi realizar um minicurso sobre os fenômenos astronômicos e resolução de questões, em seguida a aplicação de uma oficina com média duração, onde os estudantes confeccionaram os seus próprios experimentos(foguetes) abordando temas que despertem nos estudantes alvo o interesse pelas olimpíadas. Para torna o experimento viável, utilizamos matérias simples e de baixo custo disponível no dia-a-dia dos alunos Com essa a atividade experimental, é possível abordar diversos conteúdo do ramo da ciência, sendo notória a facilidade de manuseio do experimento em si. Existe uma necessidade de atividades experimentos para auxilio no processo de ensino aprendizagem, visto a aproximação da ciência ao cotidiano facilitando um melhor entendi-

mento do conhecimento científico. Para finalizar aplicamos um questionário com a finalidade de verificar o que tinha mudado na concepção dos mesmos em relação ao aprendizado de Física.

Palavras-Chaves: PIBID. Ensino de Física. Experimentação. Ensino de Astronomia

A construção de uma luneta galileana como uma forma de ensino e aprendizagem

Erine Magalhães Rodrigues, Macário Caetano de Mendonça Filho e
Luiz Ozório de Oliveira Filho

RESUMO

Introdução: A prática docente no ensino de ciências, em particular no ensino de Física, vai além de apenas exposições de conteúdos, buscar metodologias inovadoras tem sido uma forma produtiva de ampliar o conhecimento do alunado e dos docentes. Seguindo esse raciocínio, elaborou-se um projeto voltado para o ensino de Astronomia; trata-se da construção de uma luneta galileana com materiais de baixo custo. **Objetivos:** Elaborar projeto de pesquisa-ação e a montagem de uma luneta galileana como forma difundir conhecimentos no Ensino de Astronomia. **Metodologias:** Primeiramente executou-se uma tarefa didática com os alunos, mostrando qual a importância de tal feito e quais ferramentas seriam necessárias para concretizá-lo, para a montagem da luneta foi sugerido intencionalmente aos alunos, que obtivessem alguns dos materiais necessários para sua construção, de modo que eles se sentissem inseridos como participantes fundamentais na realização do projeto, em seguida, com os materiais em mãos, os alunos foram orientados sobre a montagem da luneta. **Resultados:** A obtenção deste equipamento de baixo custo, capaz de observar corpos celestes proporcionou uma elevada empolgação por parte dos integrantes, além de se tratar de uma atividade de divulgação da Astronomia, ciência ainda pouco trabalhada nas escolas do país. **Conclusão:** A produção da luneta galileana, assim como quaisquer outras ferramentas e métodos pedagógicos que estimulem o apreço pela ciência nos estudantes, é algo que deve ser explorado e expandido pelos docentes da área, de forma a ampliar as fronteiras do ensino-aprendizagem.

Palavras-chave: Astronomia. Aprendizagem. Luneta galileana.

A ampliação no Ensino de Astronomia através da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica-OBA

Macário Caetano de Mendonça Filho, Erine Magalhães Rodrigues e
Luiz Ozorio de Oliveira Filho

RESUMO

Introdução: A Astronomia é uma das ciências mais antigas, surgiu aproximadamente 3.000 a.C com os chineses, babilônios, assírios e egípcios, estudando os corpos celestes e os fenômenos que ocorrem fora da atmosfera terrestre, embora não seja uma disciplina obrigatória, sua valorização e reconhecimento no ensino de ciências, nas escolas, tem aumentado consideravelmente com a criação de olimpíadas que incentivam a sua prática, tal como a Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA). **Objetivo:** Mostrar a importância da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica para a divulgação e ampliação do ensino de Astronomia. **Metodologia:** A OBA ocorre anualmente em todo o território nacional, sua realização ocorre por meio da aplicação de provas objetivas com conteúdos interdisciplinares, os alunos que atingem as melhores notas, são premiados com medalhas e menções honrosas disponibilizadas pela comissão organizadora do projeto. **Resultados:** A Olimpíada vem sendo aplicada desde 1998, desde então o número de participantes tem aumentado consideravelmente, nos últimos dados divulgados pela coordenadoria do projeto, referentes ao ano de 2015, o número de participantes foi 838.156, o que corresponde um aumento de aproximadamente 8,5% (65.899 participantes) em relação ao ano anterior. **Conclusão:** De acordo com os resultados obtidos, o aumento de integrantes na Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica é reflexo do fascínio e motivação proporcionada pela mesma, caracterizando-a como fonte de incentivo para aprendizagem não só da própria Astronomia mas das disciplinas de Ciências.

Palavras-chave: Astronomia. Ensino. Olimpíada.

O uso da plataforma PhET interactive simulations no ensino de tópicos de física moderna

Laudenor Amorim, Artur de Almeida Evangelista e
Ewerton Wagner Santos Caetano

RESUMO

Tendo em vista o uso de ferramentas computacionais e a necessidade de melhorias no processo de ensino e aprendizagem de muitas disciplinas tais como a Física, a informática educativa se faz presente nas salas de aula por meio da utilização de *softwares* educativos ou objetos de aprendizagem, em especial, gratuitos. Na finalidade de divulgar o seu uso nesse processo, foi feito um levantamento bibliográfico sobre alguns programas computacionais e suas possíveis aplicações no ensino de Física Moderna. Foram utilizados objetos de aprendizagem obtidos do banco de dados na internet do site *PhET Interactive Simulations*, da Universidade de Colorado, nos Estados Unidos. Na plataforma são sugeridas atividades que poderiam ser realizadas com os mesmos. O trabalho destaca duas simulações: “Modelos do átomo de Hidrogênio e Efeito Fotoelétrico”. Inicialmente só havia disponível a versão em inglês destas simulações, porém, na mesma página da internet o usuário tem disponibilizado, traduções em vários idiomas, incluindo o português brasileiro. Ambas têm funcionamento baseado na linguagem de programação em JAVA. A primeira, possibilita ao estudante a visualização dos movimentos dos prótons, elétrons e nêutrons nos principais modelos atômicos. Foi escolhido este *software* devido à diferença estabelecida entre o princípio da dualidade partícula e onda, que gera muitas dúvidas entre os estudantes e também pelas visualizações dos saltos quânticos, do diagrama de energia e da descrição do modelo atômico baseado nos postulados da Mecânica Quântica. A outra, devido complementar a an-

terior no que se refere à quantização da energia, explicada por Einstein. Estas ferramentas forneceriam suporte ao professor, pois há necessidade de melhorias na formação didático-pedagógica e tecnológica dos profissionais no ensino, além de contribuírem significativamente para o aprendizado escolar, uma vez que a metodologia é viável.

Palavras-chave: Informática. Educação. Ensino de Física.

A evolução da física e seu impacto na tecnologia e construção social por meio da física moderna

Hércules de Souza Santana, Alicia Sophia Farias de Souza e
Maria Camila Pereira Barreto

RESUMO

Esse trabalho foi realizado com estudantes do Centro Educacional de Jovens e Adultos - CEJA, por meio de um minicurso, utilizado de aulas dinâmicas, expositivas cujo ramo atuante da física é a Física Moderna, objetivando não só mostrar como podemos conduzir o aluno a perceber uma estrutura do conhecimento físico como processo histórico, em estreita relação com as condições sociais e tecnológicas da atual sociedade, cuja qual o educando é sujeito ativo; mas também compreender as formas pelas quais a Física e tecnologia influenciam sua construção e interpretação do mundo sob estes conhecimentos, condicionando maneiras de pensar e interagir superando a ideia de que Física é uma matéria difícil e distante da realidade do aluno. Durante o desenvolvimento do minicurso trabalhou-se de forma interativa, entre estas formas utilizou-se de mapas conceituais para a apresentação da Física Moderna e suas ramificações (Relatividade Geral, Mecânica Quântica, e Aplicações das vertentes.), foi necessário uma carga horária de 32 h/s dividido em seis encontros, pelo fato dos participantes terem muitas carências nas áreas de exatas, no decorrer das aulas eram necessários alguns esclarecimentos de conceitos básicos matemáticos para poder explicar os conceitos de física. O resultado do trabalho foi gratificante, pois com a ajuda dos alunos podemos fazer com que o trabalho de tema “A Física Moderna e Contemporânea”, fluísse com mais informação, diversificação e cooperação de todas as partes envolvidas. Este projeto desenvolvido no CEJA foi um novo experimento para os educandos da referida unidade de aprendiza-

gens. Pois antes os alunos participantes deste projeto só tinham falado em Física da formulação matemática, usando somente expressões para resolver problemas, e com a participação do nosso projeto eles puderam ver que a Física tem muito mais a oferecer do que formulas prontas.

Palavras-chave: Física Moderna. PIBID-CEJA. Física e Tecnologia.

Acústica e psicoacústica: o som e suas sensações estudados no ensino médio

Thaylane Caúla da Silva Martins, Victória Santos das Neves, Alessandro José Azevedo de Souza, Lwzardy Antônio Freitas de Azevedo, Antônio Carlos Alencar da Silva e Raphael Victor Barros Campos

RESUMO

O Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) tem como fundamentação iniciar alunos dos cursos de licenciaturas a vivência em sala de aula e, desta forma, comparar a teoria com a prática. Porém, há algum tempo a Física vem sendo vista como uma disciplina de difícil aprendizagem, cansativa e sem estimulação a criatividade por parte dos alunos. Sendo assim, os estudantes, do PIBID de Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) Campus Fortaleza, ao conhecer essa realidade desenvolveram atividades através de softwares que estimulam a criatividade do aluno por meio do som. A Acústica é a área da Física que estuda o som. Já a Psicoacústica, ou Psicofísica como também é conhecida, estuda a relação entre sensações audíveis e as características físicas do som. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade do uso de recursos digitais no ensino de tópicos de Física ondulatória, por meio de atividades experimentais utilizando o software I-Doser. Neste trabalho vamos apresentar a análise dos processos de som e suas sensações para estimular a criatividade dos alunos para o entendimento da Física, a partir do uso do I-Doser e da música, que foram aplicados a um grupo de estudantes do segundo ano do ensino médio da Escola de Ensino Médio e Fundamental Estado do Amazonas, localizada na cidade de Fortaleza, Ceará. Essa pesquisa de base qualitativa tem por finalidade verificar se os alunos pesquisados demonstram melhoria na aprendizagem do conteúdo de física em ques-

tão, a partir da metodologia proposta. Portanto, pretende-se analisar os resultados obtidos mostrando a importância da utilização dos recursos digitais no ambiente de aprendizagem. Logo, espera-se que a partir dessa metodologia de ensino-aprendizagem, se obtenham resultados positivos a respeito dessa abordagem.

Palavras-chave: Ondulatória. Acústica. Psicoacústica. Ensino. Software.

Aplicação da X Mostra Brasileira de Foguetes como Agente Motivador do Ensino da Astronomia e Astronáutica no Ensino Médio

Daniel Rosendo de Oliveira, Antonio José Machado Cardoso e
Luiz Ozorio de Oliveira Filho

RESUMO

O presente trabalho expõe um relato sobre uma experiência vivenciada com um grupo de alunos do ensino médio da escola CERE Prof. José Euclides Ferreira Gomes Junior e bolsistas do curso de Física vinculados ao Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), na realização da X Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG). A MOBFOG é organizada anualmente pela Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) em parceria com a Agência Espacial Brasileira (AEB), e tem como um de seus maiores focos a divulgação da ciência (astronomia e astronáutica) no meio escolar. Nessa perspectiva, o projeto foi aplicado na escola com o apoio dos acadêmicos do curso de física, no qual foram responsáveis em conduzir e repassar as atividades práticas para os alunos participantes do evento, dentre essas atividades estavam: Análise de itens e procedimento de lançamento de foguetes, confecção de foguetes com garrafas pet e montagem da base de lançamento de foguetes com materiais de baixo custo. Na expectativa de atrair um maior contingente de alunos, o projeto foi aplicado como uma competição entre equipes (de no máximo três alunos) onde o objetivo era lançar foguetes obliquamente no intuito de atingir um alcance horizontal superior a 120 metros, cada equipe se encarregava em confeccionar seus foguetes e colocar em prática suas estratégias no momento do lançamento. Nas atividades pode-se perceber que algumas equipes utilizaram métodos inovadores no momento do

lançamento, e quando indagados sobre a utilização daqueles artifícios, os mesmos expuseram relatos teóricos com embasamento no que foi repassado e estudado por eles no decorrer do projeto. Partindo disso, pode-se concluir que apesar da descontração, os alunos apreenderam de forma lúdica, temas abordados na disciplina de física, que geralmente os professores do ensino médio encontram dificuldades em expor para turma em sala de aula.

Palavras-chave: Aluno. Ciência. PIBID.

Análise do Software “Efeito Fotoelétrico” como Ferramenta para o Ensino de Física

Emanuel Felipe Ferreira Santos e Camila Costa dos Santos

RESUMO

A utilização de softwares como ferramenta de ensino podem ser um notável auxiliar para estimular o aluno a pensar de modo científico. O presente trabalho é um estudo sobre o ensino de Física através do software EFEITO FOTOELÉTRICO, e tem a proposta e o objetivo de demonstrar uma análise das principais características e propriedades do efeito fotoelétrico como ferramenta para o ensino de física, podendo ser utilizado como importante recurso para dinamizar as aulas, onde utilizou-se como metodologia a pesquisa bibliográfica. Para a execução do trabalho, foram feitas análises do simulador, que está disponível na plataforma PHET COLORADO, em comparação com os modelos padrões encontrados nas bibliografias consultadas, para que possa ser usado por professores como recurso didático para complementar as aulas teóricas. A experimentação simulada promove uma efetiva assimilação dos conteúdos e também à capacidade de questionar, modificar, e investigar tais situações, sendo assim, para verificar a experiência do efeito fotoelétrico, onde a luz bate em elétrons de um alvo metálico, o simulador permite que o estudante seja capaz de visualizar e descrever a experiência do efeito fotoelétrico e prever corretamente os resultados de experimentos sobre o tema abordado. Utilizando o simulador EFEITO FOTOELÉTRICO, o estudante poderá manipular dispositivos que modificam a intensidade da fonte de luz, comprimento de onda e polaridade da fonte, ou seja, terá contato direto com o experimento. Os resultados obtidos através da prática proposta pelo software EFEITO FOTOELÉTRICO concordam de forma satisfatória com o modelo

teórico, podendo facilmente ser utilizado pelo professor como importante recurso de apoio para suas aulas, fazendo com que as informações adquiridas pelos estudantes sejam transformadas em conhecimento útil para suas vidas.

Palavras-chave: ensino de física. efeito fotoelétrico. análise. simulador. software.

O ensino da cosmologia no ensino médio

Alicia Sophia Farias de Souza, Hercules Souza Santana e
Rubbens Anttonio de Lima Vieira

RESUMO

O presente trabalho foi aplicado na Escola de Ensino Fundamental e Médio Estado da Bahia, na cidade de Crato-CE, por alunos do curso de Licenciatura em Física e Engenharia de Produção Mecânica da Universidade Regional do Cariri - URCA. O trabalho refere-se á aplicação de minicurso introdutório a cosmologia com o intuito de apresentar para o ensino médio a física pós Einstein. Tendo como objetivo principal o incentivo a ciência e tecnologia visando através deste a capacitação para a OBA- Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica, apresentar aos alunos a existência de uma física além da física clássica e despertar um interesse maior em estar buscando conhecimento além das paredes da sala de aula. O trabalho se trata de um estudo de caso. Os encontros para o desenvolvimento do projeto acontecerão no contra turno dos estudantes, totalizando dois encontros, com uma turma de 1º ano de ensino médio, iniciamos com base na metodologia de Ausubel, através de uma sondagem para percebermos o conhecimento do aluno e em seguida iniciamos com aula expositiva e apresentação de slides e discussões em sala de aula. O resultado do trabalho foi gratificante, tendo cerca de 50% de aproveitamento total e 50% de aproveitamento em conhecimento fragmentado, pois com a ajuda dos alunos podemos fazer com que o presente trabalho ocorresse com mais informação e cooperação de todas as partes envolvidas. Este projeto foi uma nova experiência para os educandos da referida unidade de ensino, bem como uma experiência inesquecível para as ministrantes deste projeto.

Palavras-chave: Cosmologia. Cosmologia No Ensino Médio. Física Contemporânea.

