

cR

Centro
de Referência
Paulo Freire

**Este documento faz parte do acervo
do Centro de Referência Paulo Freire**

acervo.paulofreire.org



InstitutoPauloFreire



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação

INSTITUTO DE FÍSICA

INSTITUTO DE QUÍMICA

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

FACULDADE UnB PLANALTINA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS

MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS

Espectroscopia:

**Enfrentando Obstáculos e Promovendo Rupturas na
Inserção da Física Moderna e Contemporânea no
Ensino Médio**

Cleovam da Silva Porto

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Cássio Costa Laranjeiras

Brasília – DF

Março de 2011



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação

INSTITUTO DE FÍSICA

INSTITUTO DE QUÍMICA

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

FACULDADE UnB PLANALTINA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS

MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS

Espectroscopia:

Enfrentando Obstáculos e Promovendo Rupturas na Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

Cleovam da Silva Porto

Dissertação realizada sob orientação do Prof. Dr. Cássio Costa Laranjeiras e apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências Área de Concentração “Ensino de Física”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília.

Brasília – DF

Março de 2011

Dedicatória

À Lourdes, minha esposa e companheira.

Agradecimentos

Este trabalho não seria possível sem a compreensão e paciência de minha esposa, Maria de Lourdes, à qual agradeço profundamente, pela sua tranquilidade e ao mesmo tempo ousadia em enfrentar os grandes obstáculos que se apresentam no cotidiano de nossa vida e ao mesmo tempo aguentar minhas preocupações e aborrecimentos.

Aos meus filhos Lara e Maurício, por às vezes nem escutá-los enquanto faziam algumas perguntas, espero poder escutá-los mais e que isto mude radicalmente.

Espero agradecer aos meus colegas de curso, em particular ao Marcelo Monteiro, Marcelo David, pelas dúvidas às vezes suscitadas, e também à colega Mirele.

Gostaria ainda de agradecer a todos os Professores do PPGEC pela contribuição a que todos ofereceram, e também aos colegas da Secretaria do PPGEC na figura da Carol e do Diego o meu muito obrigado.

Agradeço também à SEEDF pela colaboração e também à minha escola de origem, o CEMAB/Taguatinga, aos meus alunos e a todos os colegas que direta ou indiretamente me ajudaram de alguma forma.

Não poderia deixar de agradecer ao meu amigo Marcos Alvetti, que me incentivou, desde o início, a fazer um mestrado, e olha que isto já faz bastante tempo.

Por último, gostaria de agradecer imensamente o papel relevante e fundamental para que este trabalho se realizasse desempenhado pelo meu orientador Prof. Dr. Cássio Costa Laranjeiras, que se dispôs a me orientar, discutir, “fazer a planta brotar do cimento”, os meus mais profundos agradecimentos.

Resumo

O objetivo deste trabalho é discutir aspectos relacionados à Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio (FMCEM), defendendo e explorando a existência de tensões de natureza pedagógica e epistemológica no processo de ensino e aprendizagem, com vistas à construção de transições de natureza curricular. Para além da mera superposição de novos tópicos àqueles já existentes nas grades curriculares convencionais do Ensino Médio, defende-se a perspectiva de que uma releitura dos conteúdos curriculares de Física voltados para esse nível de ensino pode indicar potenciais caminhos para uma abordagem contemporânea, inovadora, dinâmica e contextualizada da Física. A perspectiva educacional de Paulo Freire constitui-se aqui um referencial de natureza pedagógica, que nos permitiu reunir e incorporar elementos dialógicos às nossas reflexões e proposta. No campo mais propriamente epistemológico, fomos norteados pela Epistemologia Histórico-Crítica de Gaston Bachelard, em cujas categorias conceituais fomos buscar referências, também constitutivas e essenciais ao trabalho didático-pedagógico com a Física. Como exercício aplicativo, na forma de proposição didática, apresentamos uma proposta de Material Didático Instrucional (MDI) de apoio a professores e alunos, no formato de “Lições de Física”, que explora o tema “Espectroscopia”.

Palavras-chave: espectroscopia, física moderna, formação de professores.

Abstract

The purpose of this work is to discuss some topics of modern and contemporary Physics at the high school level (FMCEM) defending and exploring the existing epistemological and pedagogical tensions in the teaching learning-process aiming at building curricular transitions. Beyond the superposition of new topics to those already implemented in high school conventional programs we defend that a new approach to their content can point to innovative, dynamic and contextualized visions of Physics. Paulo Freire's contextualized vision of education is a pedagogic reference that helps us bring and incorporate dialogic elements to our considerations and proposal. Gaston Bachelard and his historical-critical epistemology guides us through this field using his categories and concepts that are constitutive and essential to the didactic (teaching) and pedagogic aspects of Physics. We present a Didactic Instructional Material (MDI) as an application exercise in the form of a didactic proposition as a support to teachers and students, in a "Lessons of Physics" format that develops the subject of Spectroscopy.

Keywords: spectroscopy, modern physics, teacher preparation.

Sumário

Introdução	10
Capítulo 1 – Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio	19
1.1 O Que Tem Sido Dito Sobre o Tema	19
1.2 Da Necessidade de uma Releitura Curricular	29
Capítulo 2 – Fundamentos Teóricos e Metodológicos	48
2.1 – A Dialogicidade como Elemento Constitutivo da Comunicação Educativa. ...	49
2.2 – Promovendo Rupturas e Transpondo Obstáculos de Natureza Epistemológica no Processo Educativo	54
2.3 – Lições de Física: Quando o Pedagógico e o Epistemológico se Encontram na Operacionalização do Processo de Ensino-Aprendizagem	58
Capítulo 3 – Espectroscopia: Explorando a Natureza Íntima da Matéria	60
3.1 – A Informação como Resultado da Interação Radiação – Matéria	63
3.2 De Espectros e Espectroscópios: Na Trilha da Ciência.	71
Considerações Finais	79
Referências Bibliográficas	81
Apêndice A: Lição de Física 01 - Planejamento/Orientação ao Professor	86
Apêndice B: Lição de Física 02 - Planejamento/Orientação ao Professor	89
Apêndice C: Lição 01 – Espectroscopia: Investigando a Estrutura Íntima da Matéria.	92

Apêndice D: Lição 02 – De Espectros e Espectroscópio: Na Trilha da Informação.	101
Glossário	108

Introdução

O tema da inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio (FMCEM) tem sido objeto de inúmeras discussões em fóruns de ensino e pesquisa, encontro de professores etc., caracterizando-se a sua necessidade, na maioria das vezes, como um consenso. Há também quem se lance na discussão considerando a sua necessidade até mesmo no Ensino Fundamental.

Passada mais de uma década de pesquisas, a dificuldade e a lentidão da inserção efetiva desses tópicos no Ensino Médio indicam a presença de obstáculos marcantes, dentre eles a falta de um objetivo mais claro do que se quer com essa inserção, de como fazê-lo, da falta de material didático instrucional adequado, além de dificuldades estruturais no processo de formação dos professores. Nesse processo, podemos mesmo identificar a existência de tensões em torno do tema, caracterizadas muitas vezes por diferentes perspectivas de análise que se confrontam, por dificuldades de organização curricular, de gestão do sistema educacional etc.

É necessário salientar que o professor, em qualquer nível de ensino, certamente encontrará obstáculos, de variadas ordens, tais como: currículo, a estrutura administrativa das escolas, a opção de outros colegas por determinadas práticas e metodologias e, até mesmo, a singular ausência de relações entre os componentes curriculares na maioria das escolas do país. O desafio é de todos nós, alunos, professores e comunidade escolar em geral.

Segundo Ostermann e Moreira (2000), Greca e Moreira (2001) e Monteiro e Nardi (2007), diferentes pesquisas realizadas com professores do Ensino Médio apontam a falta de entusiasmo deles.

As transições e rupturas desejadas em torno do tema, que possam nos levar de uma prática escolar extremamente engessada para um ensino pautado na dialogicidade, na criatividade e na inovação, continuam a nos desafiar. Do ponto de vista epistemológico, carecemos de um adequado planejamento pedagógico que nos permita efetuar rupturas com o conhecimento comum, com vistas à construção de conceitos científicos, caracterizando aquilo que Gaston Bachelard denomina de formação do espírito científico.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) para o Ensino Médio (BRASIL, 2002) estabelecem como objetivo principal para o ensino de Física no nível médio o desenvolvimento, pelo aluno, de competências específicas em Física, em decorrência do aprendizado dessa disciplina e das tecnologias a ela relacionadas. Nessa perspectiva, o ensino dessa disciplina “*deve contribuir para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais*” (BRASIL, 2002, p. 8). Com essa compreensão, os conhecimentos científicos e tecnológicos, quando abordados de forma adequada na escola, devem dotar o indivíduo de um instrumental de pensamento e de leitura de mundo que o possibilite interpretar e transformar a sua realidade, exercendo o seu papel no âmbito da sociedade.

As Orientações Curriculares Nacionais Para o Ensino Médio reforçam esse ponto de vista, afirmando a necessidade de que “[...] os *alunos compreendam a predominância de aspectos técnicos e científicos na tomada de decisões sociais significativas e os conflitos gerados pela negociação política*” (Brasil, 2008, p. 47). Além disso, enfatiza que “*Uma formação crítica exige por parte dos sujeitos a capacidade de discutir abertamente questões resolvidas em instâncias tecnocráticas, que devem*

estar amparadas em sólida formação científica e tecnológica. Implica que seja possível discriminar o domínio da ciência e da tecnologia do debate ético e político” (BRASIL, 2008, p. 47).

Como sintoma da falta de clareza quanto aos objetivos da inserção da FMCEM, pode-se indicar o conflito entre dar um tratamento mais formativo ou mais informativo aos tópicos e temas da Física Moderna e Contemporânea.

O meu período acadêmico junto ao Mestrado Profissional em Ensino de Ciências contribuiu na ampliação da minha perspectiva com relação ao tema, forjando reflexões quanto à necessidade de desenvolvimento de material didático apropriado a subsidiar a tarefa de inserção da FMCEM.

Nunca conseguia imaginar, em pleno Século XX e já no XXI, ministrando aulas e conteúdos do Século XIX. A Física Clássica (FC) tem suas limitações, mas permanece válida dentro de certos limites. Segundo Oliveira (2005, p. 2) *“Precisamente, sempre que as massas dos objetos não forem tão pequenas quanto às massas atômicas, nem tão grandes quanto as massas das galáxias, e sempre que as velocidades envolvidas forem muito menores do que a velocidade da luz, a física clássica resultará em uma boa descrição dos fenômenos”*.

Foi nessa grande aventura, que comecei a fazer inúmeras leituras de revistas científicas, livros didáticos e paradidáticos que tinham uma pequena dose de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea que se mostravam apropriados ao Ensino Médio (FMCEM), ainda que de forma incompleta.

É incrível pensarmos como em nossas salas de aula, em pleno século XXI, não discutimos questões tão relevantes para a formação de um cidadão contemporâneo. Segundo Barthem (2005, p. 80),

o primeiro laser (sigla formada pelas iniciais de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, que significa amplificação de luz por emissão estimulada de radiação), bem sucedido foi construído por Theodore Harold Maiman (1927 – 2007) no verão de 1960, desde então a tecnologia laser cresceu e se diversificou tanto que hoje ela pode ser encontrada nas mais inusitadas aplicações. Estas vão das leitoras de CD e de código de barras à depilação a laser em consultórios dermatológicos; da fusão nuclear a laser às operações oftalmológicas de retina; da comunicação com fibra óptica à manipulação de sistemas biológicos microscópicos; do controle da poluição ambiental à realização do relógio atômico mais preciso que a humanidade já conheceu. Enfim, o laser, cerca de cinquenta anos após sua invenção é, hoje, parte de nosso cotidiano.

Para Pimenta (2010), além de laser de rubi, muitos outros foram construídos, em especial lasers cujo meio material era um gás, como o fabricado pelo físico iraniano Ali Javan e colaboradores, em 1961, a partir de uma mistura de hélio e neônio. Hoje, há vários tipos de lasers, usando diferentes gases, líquidos e sólidos, em particular lasers extremamente pequenos, construídos a partir de sólidos semicondutores.

Após realizar sua façanha, Maiman (no verão de 1960) chegou a afirmar que o laser era uma solução à procura de um problema (BARTHEM, 2005). E os “problemas” logo começaram a surgir. Os lasers são usados hoje em diferentes dispositivos, com inúmeras aplicações. Os de baixa intensidade são utilizados em cirurgias delicadas, como as oftalmológicas; os de alta intensidade podem fazer cortes precisos e solda em peças metálicas, tais como casco de navios. A leitura de CDs e DVDs é feita com pequenos lasers de semicondutores, também usados na leitura de código de barras. Feixes de lasers são usados para comunicação óptica (por meio

de fibras ópticas), para realizar medidas precisas de grandes e pequenos comprimentos e para produzir imagens tridimensionalmente (holografias). Tem aplicação também na área militar, guiando mísseis e marcando alvos. O uso do laser transcendeu em muito o domínio da óptica e tem atualmente amplas aplicações.

Vale notar que esse dispositivo hoje extremamente útil ao homem surgiu de pesquisas fundamentais a respeito da interação matéria e radiação com base em estudos espectroscópicos sobre níveis de energia em átomos, moléculas e sólidos. Em contrapartida, o laser é hoje uma ferramenta de grande importância para o avanço do conhecimento fundamental sobre a estrutura da matéria, a natureza da luz, a interação entre luz e matéria, o estudo de reações químicas, a visualização de processos biológicos e a caracterização de materiais. Os Lasers são muito usados em laboratórios de pesquisa em Física, Química, Biologia e Engenharia, mostrando que avanços científicos levam a descobertas técnicas que, por sua vez, acabam avançando novos conhecimentos científicos.

Os computadores, fornos de micro-ondas, telefones celulares, *music players*, TVs LCD, Internet, descobertas astronômicas, não estavam no contexto das aulas e nem da escola. Apareciam somente na TV, nos jornais, filmes de ficção etc. Alunos e professores estavam “caminhando e cantando” a Física do Século XIX, com todas as fragilidades que a sua apresentação didática tem incorporado. Era um verdadeiro paradoxo, as tecnologias e aparelhos eletro-eletrônicos no cotidiano e uma escola descontextualizada do seu tempo, juntamente com seu corpo docente. Para Pinto e Zanetic (1999),

É preciso transformar o ensino de Física tradicionalmente oferecido por nossas escolas que avança, no máximo até o início do século XX em um ensino que contemple o desenvolvimento

da Física Moderna, não como uma mera curiosidade, mas como uma Física que surge para explicar fenômenos que a Física Clássica não explica, constituindo uma nova visão de mundo. Uma Física que hoje é responsável pelo atendimento de novas necessidades que surgem a cada dia, tornando-se cada vez mais básicas para o homem contemporâneo, um conjunto de conhecimentos que extrapolam os limites da Ciência e da tecnologia, influenciando outras formas de saber humano. (1999, p.7).

Na argumentação, Pinto e Zanetic (1999) demonstram que a Física Clássica percorreu um caminho que chega a certos limites e se exauriu, e determinados fenômenos não podem ser explicados por ela a partir de então, desta forma a FMC passa a contribuir com suas explicações. Explicações estas que servem como suporte para satisfazer uma nova visão de mundo.

Essa falta de contemporaneidade, com os nossos currículos e mesmo com as nossas aulas cotidianas tornou-se um verdadeiro paradoxo, paradoxo este em que os alunos se perguntam e muitos estudantes alegam: “*estudamos conteúdos ultrapassados, que não têm nada a ver com a vida que levamos no nosso dia a dia, utilizamos tecnologias que não sabemos explicar como funciona e nem nossos professores*”, e nós sabemos que isso, além de correto, está na raiz de muitos problemas que permeiam o ensino básico, a começar pelos próprios conflitos gerados dentro da escola, conteúdos ultrapassados e desinteressantes e professores mal pagos e a maioria sem qualificação e sem atualização.

É nesse sentido que Terrazzan (1994, p. 8) afirma:

Por isso, sem negar a validade de trabalhos de natureza metodológica, não vejo forma de eles se sustentarem enquanto contribuição real, senão incluindo-os numa agenda maior de reflexão global sobre a problemática escolar e suas possibilidades de solução, a partir de cada disciplina que hoje compõe o currículo.

Ainda dentro dessa perspectiva, afirma Laranjeiras (2010, p. 1):

O nosso ensino de ciências tem abdicado das ciências, tornando-as ausentes, não poucas vezes negando-as, razão pela qual tem se convertido em mero simulacro de educação científica. Dessa forma, constitui-se em uma realidade auto-referenciada e bastante alheia àquela que deveria servir-lhe de inspiração e referência: a da ciência.

A Ciência não pode se converter em uma verdade absoluta. Nesse sentido, é necessário relativizá-la, mesmo porque trabalhamos com modelos e estes podem ser substituídos por outros e, sendo assim, uma verdade, hoje, pode não sê-lo no futuro, o que nos leva a muitas dificuldades em explicações de certos fenômenos. A Física Clássica (FC) responde a certos fenômenos, até certos limites, porém, não explica todos e, sendo assim, são necessários outros modelos para explicá-los e a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio (FMC) passa a nos fornecer explicações com base em outros modelos.

Com relação à investigação científica, Laranjeiras (2010) vai mais além, ao afirmar que:

O sentido da investigação científica, para o qual as diferentes disciplinas da área de Ciências da Natureza deveriam convergir, tem-se perdido em meio a práticas pedagógicas que desconhecendo o processo mesmo de construção da ciência, vem violentando a sua integridade na escola, promovendo pseudo-apropriação de informações desconexas, travestidas de conhecimento científico.

É necessário que as Ciências da Natureza comecem a conviver em sua plenitude, articulando-se a outras disciplinas, como, por exemplo, a História da Ciência e a Filosofia da Ciência, para que possam alavancar um ensino, mostrando, dessa forma, ao mesmo tempo suas dificuldades e contradições, como também suas faces de interligação. Dessa forma, a escola terá que investir em maior preparo e atualização de seus professores, aliando aulas teóricas com aulas de laboratório, tornando-as também mais agradáveis. A investigação científica faz parte desse processo, e é isto que a transforma em Ciência.

Com relação à ideia de que a Física, como conhecimento, continua sendo cultura, Laranjeiras (2009, p. 209) reafirma:

Em parte, isso se deve a uma incapacidade enraizada no próprio ambiente escolar, que já a partir da sua organização espacial sinaliza um projeto (consciente ou inconsciente) de imobilização do conhecimento, impedindo uma relação de integridade com o mesmo. Não é a toa que as bibliotecas escolares nunca se constituem enquanto lócus privilegiado do processo de ensino-aprendizagem no ambiente escolar. As salas de J(aula), enquanto cárceres físicos e intelectuais não favorecem os processos de investigação, essenciais ao aprendizado da ciência, já que os laboratórios há muito foram esquecidos, e visto que todo o suposto conhecimento é entendido como algo a ser dito, e não fruto de investigação por parte de aprendizes.

É nesse contexto que a proposta deste trabalho é apresentada como uma das possibilidades de inserir a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

No Capítulo 1, apresentaremos uma visão global dos trabalhos apresentados na área, tanto ao nível nacional como internacional, com o suporte de estudiosos da área [Terrazzan (1994); Moreira (1989, 1990); e Ostermann (2000, 2009)]. Dentro desse mesmo capítulo, iniciaremos uma retrospectiva da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, de 1996 (LDBEN), das Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, de 1998, (DCNEM), dos Parâmetros Curriculares Nacionais Para o Ensino Médio, de 2000, (PCNEM) e dos PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (2002), além das Orientações Curriculares Nacionais Para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (2006).

No Capítulo 2, passaremos em revista às perspectivas de Paulo Freire e Gaston Bachelard, que nos subsidiarão nos aspectos teórico-metodológicos ao longo da dissertação.

No Capítulo 3 abordaremos aspectos relacionados à Espectroscopia, temática escolhida como exercício de conteúdo, que será desdobrado nos apêndices A, B, C e D) como exercício aplicativo, na forma de proposição didática de apoio a professores e alunos, no formato do que aqui estamos caracterizando como “Lições de Física”

Capítulo 1 – Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

A realidade do professor de Física sempre foi um desafio no Ensino Médio, principalmente em se tratando de sua formação, formação esta que hoje, mais do que no passado, exige dele um maior acompanhamento das novidades editoriais, leituras de sua área etc.

A temática da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio (FMCEM) está, desde meados do século passado, desafiando os docentes, principalmente pela própria falta de atualização e também pela falta de material didático adequado no campo editorial, tornando-se, dessa forma, um verdadeiro desafio para os professores promover saltos qualitativos nesse campo, em sua prática de sala de aula.

1.1 O Que Tem Sido Dito Sobre o Tema

Em um trecho da apresentação da obra “*Dicas de Física: suplemento para a resolução de problemas do Lectures on Physics*”, (SANDS, 2004), Mattheu Sands afirma:

Quando me tornei um membro regular do corpo docente do Caltech (California Institute of Technology) em 1953, pediram-me que lecionasse em alguns cursos de pós-graduação. Eu fiquei um pouco desanimado com o programa do curso. No primeiro ano eram oferecidas apenas disciplinas de física clássica – mecânica, eletricidade e magnetismo (e cobriam somente a estática, nenhuma teoria da radiação era dada). Para mim era uma vergonha os estudantes não serem expostos às idéias da física moderna (muitas que já eram conhecidas há 20 ou 50 anos) até o segundo ou terceiro ano da pós-graduação. Então iniciei uma campanha para reformular o programa. Eu co-

nhecia Richard Feynman desde Los Alamos e chegamos juntos ao Caltech alguns anos antes. Pedi a Feynman para se juntar à campanha, esboçamos um novo programa e finalmente persuadimos a faculdade de física a adotá-lo. O primeiro ano consistia em um curso de Eletrodinâmica e Teoria Eletrônica (que eu lecionaria), Introdução à Mecânica Quântica (dada por Feynman) e, pelo que eu recordo, um curso de Métodos Matemáticos, lecionado por Robert Walker. Acho que o novo programa foi bem-sucedido.

Nessa época, Jerrold Zacharias, do MIT, foi estimulado pelo lançamento do *Sputinik* a promover uma revitalização do programa de ensino de física na escola secundária dos Estados Unidos. Um dos resultados disso foi a criação do programa PSSC (sigla em inglês para Comitê de Estudo para Ciências Físicas) e a geração de muitas novas idéias e materiais, como também algumas controvérsias.

Quando o programa PSSC estava próximo da sua conclusão, Zacharias e alguns colegas (eu acredito que alguns deles eram Francis Friedman e Philip Morrison) decidiram que era a hora de fazer uma revisão das universidades de física. Eles organizaram algumas grandes reuniões com professores de física, das quais surgiu a Comissão das Universidades de Física, um comitê nacional constituído por vários professores universitários de física, mantido pela Fundação Nacional para a Ciência, e encarregado de estimular a modernização do ensino de física nas faculdades e universidades. Zacharias convidou-me para as primeiras reuniões, participei do Comitê e, finalmente, tornei-me presidente. (SANDS, 2004, p.17-18).

Isso demonstra, por outro lado, como surgiram as ideias do Projeto PSSC, que foi modelo até para muitos outros países, tanto da América Latina como da Europa.

O começo ou a intensificação do movimento de inserção da FMCEM nos cursos universitários provavelmente tenha como referência a “Conferência sobre o Ensino de Física Moderna”, realizada no *Fermi National Accelerator Laboratory (Laboratório Acelerador Nacional Fermi)*, Batavia, Illinois, em abril de 1986, nos Estados Unidos, em nível internacional, embora o objetivo específico não fosse discutir esse assunto e sim Física de Partículas e Cosmologia, no Ensino Médio e em cursos introdutórios de graduação (AUBRECHT,1986 apud OSTERMANN & MOREIRA, 1998).

Porém, essa questão vem sendo discutida desde as décadas de 1960 e 1970, por meio de projetos internacionais.

Como ponto de partida, podemos tomar o PSSC, 1957, (*Physical Science Study Committee*), juntamente com os seus similares de outras áreas de conhecimento, o BSSC (Biologia), o CSSG (Química) e Matemática (SMSG)¹. Todos chegaram a ser traduzidos e utilizados no Brasil na década de 1970.

O *Harvard Project Physics* (HPP, 1964), que com uma explícita ênfase histórica aborda tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC), tomando sempre

¹ É importante salientar, que já no prefácio da Edição Norte-Americana de 1966 em português se colocava: A contribuição crescente da Matemática para a cultura do mundo moderno, bem como sua importância como uma parte vital da educação científica e humanística, tornou necessária a elaboração de um currículo para as nossas escolas. (prefácio à edição norte-americana).

como parâmetro uma abordagem contextualizada do conhecimento científico, criou referências para uma abordagem histórica associada a uma contemporaneidade em termos de conteúdo. O *Nuffield Science Teaching Project* (NSTP), que mescla conteúdos modernos com os da Física Clássica, e o *Nuffield Advanced Science* (NAS), um nível mais avançado do NSTP, em que temas de FMC são aprofundados, são outros exemplos referenciais da discussão sobre a FMCEM.

A justificativa apresentada por Terrazzan (1992, 1994) para a inserção da FMCEM centra-se na tendência de atualizar o currículo de Física pela influência crescente dos conteúdos contemporâneos no entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como a necessidade de se formar um cidadão consciente e participativo que atue nesse mesmo mundo.

É importante salientar o trabalho de revisão de literatura elaborado por Ostermann (2000), abarcando o período que vai de fins da década de 1970 até o início de 2000, em que Ostermann relaciona toda uma gama de justificativas para a introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio (FMCEM).

Já na III Conferência Interamericana sobre Educação em Física (BAROJAS, 1998), foi organizado um grupo de trabalho para discutir o ensino de Física Moderna. Na discussão, foram levantadas inúmeras razões para a introdução de tópicos contemporâneos na escola média. Entre elas, destacam-se:

- despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles;

- os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não vêem nenhuma Física além de 1900. Essa ideia é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a Ciência totalmente;
- é do maior interesse atrair jovens para a carreira científica, serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física;
- é mais divertido para o professor tópicos que são novos. O entusiasmo pelo ensino deriva do entusiasmo que se tem em relação ao material didático utilizado e de mudanças estimulantes no conteúdo do curso. É importante não desprezar os efeitos que o entusiasmo tem sobre o bom ensino;
- Física Moderna é considerada conceitualmente difícil e abstrata; mas, resultados de pesquisa em ensino de Física têm mostrado que, além da Física Clássica ser também abstrata, os estudantes apresentam sérias dificuldades conceituais para compreendê-la.

Stannard (1990) justifica a atualização curricular, ao relatar um levantamento feito com estudantes universitários, que mostrou que é a Física Moderna – relatividade restrita, partículas elementares, teoria quântica, astrofísica – que mais os influencia na decisão de escolher Física como carreira. O autor sugere que sejam escritos livros e textos com abordagens inovadoras de FMCEM, como forma de encorajar a revisão curricular.

Gil *et al.*(1987) acreditam que o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) a alunos secundaristas reveste-se de grande importância, uma vez que a introdução de conceitos atuais de Física pode contribuir para dar uma imagem mais

correta dessa ciência e da própria natureza do trabalho científico. Essa imagem deve superar a visão linear, puramente cumulativa do desenvolvimento científico. E partindo da revisão das principais contribuições da Física Clássica, apresenta a FMCEM como necessária para explicar problemas não resolvidos pela Física Clássica.

Quanto à questão metodológica, Terrazzan (1994) indica três vertentes principais para a inserção da FMCEM. *A primeira delas* deve-se aos trabalhos de Gil e Solbes (1993), da Universidade de Valência, Espanha, que propõem a exploração dos limites clássicos e, de acordo com Moreira & Ostermann, 1998 *apud Gil et al.*, 1998, após análise de 42 livros didáticos de Física na Espanha, a maioria não fazia nenhuma referência: ao caráter não linear do desenvolvimento científico; às dificuldades que originaram a crise da Física Clássica; às profundas diferenças conceituais entre Física Clássica e Moderna.

A segunda vertente seria oposta à primeira, com trabalhos de Fischler e Lichtfeldt, da Universidade Livre de Berlim, Alemanha. Com Fischler e Lichtfeldt (1992), considera-se que a Física Moderna se torna difícil, porque o ensino utiliza analogias semi-clássicas.

Uma *terceira vertente* é a proposta de Arons (1990), da Universidade de Washington, Estados Unidos, por meio de tópicos essenciais [ALVETTI e DELIZOICOV (1998); TERRAZZAN (1994); PEREIRA (1997); CAMARGO (1996); PAUL (1997)] e propõe que poucos conceitos sejam ensinados no nível médio. Defende ainda que a Física Moderna seja sustentada pela Física Clássica para abordagem de tópicos especiais.

A metodologia utilizada por Ostermann & Pereira (2009) segue os seguintes procedimentos:

- (i) levantamento do universo de trabalhos sobre o ensino de FMC posteriores à revisão de Moreira (2000);
- (ii) definição dos temas presentes nos artigos consultados; e
- (iii) classificação e categorização dos trabalhos (OSTERMANN & PEREIRA, 2009).

O universo do trabalho dos autores acima referidos abarca artigos publicados nas principais revistas de Ensino de Ciências do Brasil (A Física na Escola, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Ciência & Educação, Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências, Investigação em Ensino de Ciências, Revista Brasileira de Ensino de Física e Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências) e do exterior (*American Journal of Physics; Enseñanza de la Ciencias; International Journal of Science Education; Physics Education; Revista Electrónica de Enseñanza de La Ciencias, Science & Education*), no período de 2001 a 2006. O critério de seleção dessas revistas foi feito com base no sistema de avaliação da Capes (Qualis) relativo à Área de Ensino de Ciências e Matemática. Devido ao grande número de revistas, foram incluídas apenas aquelas classificadas como Nacional A, Nacional B e Internacional A².

² A revista “A Física na Escola” é uma exceção ao critério de seleção exposto acima. Por se tratar de uma revista dirigida a professores de ensino médio que contempla artigos escritos por importantes pesquisadores da Área de Ensino de Ciências, optamos por incluí-la na amostragem.

Já na revisão bibliográfica feita por OSTERMANN & PEREIRA (2009), eles enfatizam estratégias para abordar FMCEM no seguinte formato:

Estratégias para abordar FMCEM no ensino médio

Utilizando materiais de divulgação científica como recurso didático, Silva e Kawamura (2001) abordaram o tema dualidade onda partícula nas aulas de Óptica no ensino médio. A partir de uma “estratégia de perguntas”, uma série de questões iniciais, elaboradas em conjunto por alunos e professor, foi utilizada para estruturar as atividades em sala de aula. Essas atividades incluíram experiências, aulas expositivas, leitura de livros didáticos e textos de divulgação científica. Tomando a pergunta “o que é luz?” como tema central de uma das aulas, os autores apresentaram um seminário baseado em textos de divulgação científica e discutiram a dualidade onda-partícula. Os autores analisaram o grau de participação dos alunos e o nível das perguntas realizadas no início e no final do curso. Os resultados mostraram-se satisfatórios.

Johansson *et al.* (2001) realizaram, na Universidade de Estocolmo, dois cursos voltados para estudantes de ensino médio: um sobre Astronomia e outro sobre Física de Partículas. Os autores fazem parte de um projeto educacional, *Hands on CERN*, no qual colisões do tipo pósitron-elétron podem ser estudadas no acelerador LEP. Após a descrição do programa de ambos os cursos, os autores apresentaram uma atividade em que os estudantes utilizaram os dados do detector DELPHI, disponível na *Internet*, para reconstruir os rastros criados durante as colisões de partículas. Os alunos analisaram 100 eventos em que a partícula Z^0 decaía em léptons ou em quarks. Segundos os autores, além de se familiarizar com o método científico,

os alunos tiveram a chance de aprender sobre os “blocos construtores básicos” da Natureza.

Em estudo de caso na Alemanha, Budde *et al.* (2002b) acompanharam o processo de aprendizagem de dois estudantes expostos ao modelo atômico alternativo ‘*Electronium*’. Segundo esse modelo, o elétron é constituído de uma substância ao redor do núcleo cuja densidade é descrita pela equação de Schrödinger. Os resultados do pós-teste e a análise de uma entrevista realizada dois anos após a intervenção com o modelo *Electronium* mostraram que os estudantes desenvolveram a concepção atômica na qual os elétrons não se movem quando o átomo está em estado estacionário.

Em um estudo com futuros professores, Kalkanis *et al.* (2002) elaboraram e avaliaram uma estratégia educacional que permitiu formar uma estrutura conceitual que inclui a Física Clássica (FC) e a Mecânica Quântica (MQ) como dois sistemas conceituais totalmente independentes. A estratégia constituiu-se de cinco componentes: (a) investigação preliminar do conhecimento prévio dos estudantes; (b) associação da teoria com a fonte de concepções alternativas; (c) implementação de uma ferramenta instrucional; (d) avaliação dos processos de metacognição. De acordo com os autores, os resultados mostraram-se satisfatórios.

Paulo e Moreira (2004) implementaram uma unidade didática sobre MQ em turmas de primeiro e segundo anos do ensino médio em duas escolas da rede pública de ensino em Porto Alegre. As turmas de primeiro ano tiveram aulas sobre óptica ondulatória e sobre o experimento de dupla fenda antes da implementação da unidade didática. Os autores afirmam que os resultados da investigação parecem indicar que não houve dificuldades de aprender conceitos da teoria quântica que fossem

maiores que as dificuldades de aprendizagem inerente à FC e que o conhecimento prévio sobre ondulatória clássica, por parte dos alunos, não parece influenciar criticamente os resultados de aprendizagem.

Ao trabalharem em colaboração com seis alunos da licenciatura do curso de Física na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Ostermann e Moreira (2004) implementaram uma unidade didática sobre supercondutividade em turmas de duas escolas de ensino médio por meio da disciplina de Estágio Supervisionado. Os autores buscaram estabelecer analogias com a FC à luz da teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Os resultados da pesquisa mostraram-se satisfatórios, tanto na preparação dos futuros professores, quanto em termos de aprendizagem dos alunos de nível médio.

Pérez e Solbes (2006) apresentam e avaliam uma proposta didática alternativa para o ensino de Relatividade Especial (RE) no ensino médio. Com base em contribuição de Solbes, de Sanchez Ron, de Gil e Solbes e de Perez e Solbes (*apud* PEREZ e SOLBES, 2006), os quais desenvolveram uma estratégia que apresenta a crise na FC, constrói os fundamentos da RE e discute as linhas mais importantes da teoria, reafirmando os princípios de conservação. Para avaliar a proposta, os autores realizaram entrevistas e aplicaram um questionário conceitual sobre o tema a questão em 161 alunos. Os resultados mostraram uma diferença significativa entre os grupos experimental e de controle, com um nível de confiança de 99%. A estratégia proporcionou uma melhora substancial na compreensão dos estudantes a respeito dos conceitos de espaço e tempo, além de uma melhora na compreensão da equivalência massa-energia e do papel dos princípios de conservação dos fenômenos energéticos.

Lobato e Greca (2005, *apud* OSTERMANN & PEREIRA 2009) fizeram uma análise dos programas curriculares de ensino médio de vários países que contemplam temas de FMC. Foram analisadas as grades curriculares dos seguintes países: Portugal; Espanha; França; Reino Unido; Dinamarca; Suécia; Canadá; Austrália; Itália; Finlândia. Os temas de FMC encontrados nesse estudo foram: quantização e a constante de Planck, dualidade onda-partícula, Princípio da Incerteza, Física Atômica e Nuclear, Física de Partículas, efeito fotoelétrico e modelos atômicos.

Brockington & Pietrocola (2005) analisam os requisitos necessários para a inserção de temas de MQ no ensino médio. Com base na teoria da transposição didática de Chevallard, os autores discutem alguns impasses presentes nesse processo e apontam para a necessidade de professores, e da comunidade escolar em geral, libertarem-se das regras que geram o saber escolar tradicional. Os autores defendem que o sucesso de um novo saber escolar deve estar mais atrelado ao seu entendimento, prazer e significação do que à sua capacidade de adaptação ao regime educacional vigente.

1.2 Da Necessidade de uma Releitura Curricular

Sem sombra de dúvida, nas últimas décadas, os avanços científicos e tecnológicos não têm permanecido alheios à juventude, inclusive dentro das salas de aulas. Basta ver as diversas e variadas mídias utilizadas pelos jovens, em seus cotidianos -- ex. MP7, telefone celular, máquina digital, *palmtop* e *laptop*, além de aparelhos eletrodomésticos como forno de micro-ondas, TV LCD etc.

Dessa forma faremos uma breve análise dos artigos publicados nos últimos dez anos pela *Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)*, publicada pela Socie-

dade Brasileira de Física (SBF), o que, no nosso ponto de vista, é muito pouco em relação ao que necessita ser conhecido pelos estudantes.

Mapeamos 19 artigos publicados nos últimos 10 anos e somente 12 dos 19 discutiam a Física do Ensino Médio vinculando a sua abordagem à temática da inserção da FMCEM. Vale observar que estamos incluindo aqui aqueles que tratam o uso do computador no contexto da FMCEM.

Moreira, em “O *Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas* (2000)³” faz uma retrospectiva do Ensino de Física no Brasil e no cenário Internacional, desde a década de 1960, e levanta a importância dos PCN. Segundo Moreira,

Falar sobre o ensino de Física no Brasil é falar também sobre ensino de Física em nível Internacional. As tendências passadas e futuras desse ensino em nosso país são, guardadas as proporções e respeitadas as peculiaridades nacionais, as mesmas de muitos outros países. (MOREIRA, 2000).

Com relação ao livro-texto, acrescenta que *a atividade experimental desenvolvida pelo aluno já era considerada importante no ensino de Física*, citando como referência os projetos nos EUA, tais como PSSC (Physical Science Study Committee); Nuffield, na Inglaterra; o *Harvard Physics Project*, também nos EUA; e o *Projeto de Ensino de Física*, na Universidade de São Paulo, Brasil.

Temos que concordar com o autor do artigo, que, de fato, até como aluno desses livros didáticos, sempre os achamos de suma importância.

³ Apresentação feita na mesa-redonda “Retrospectiva e Perspectivas de Ensino e Pesquisa,” integrante do seminário “Ciências Exatas no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas de Ensino, Pesquisa e Fomento”, Universidade de Brasília, 9 e 10 de novembro de 1999.

Almeida e Mozena analisam (2000) o funcionamento da leitura no contexto do trabalho, com uma unidade sobre Luz e outras formas de radiação eletromagnética. Segundo as autoras:

É fato que no mundo atual ler textos escritos, incluindo os relativos ao desenvolvimento científico e suas aplicações é de grande importância para a vida de qualquer cidadão. A leitura permite a diversidade de informações sobre assuntos variados possibilitando o exercício da visão crítica, pois embora existam outros meios para obtenção de informações, o texto escrito é o meio que mais permite a abrangência de opiniões e o aprofundamento em temas variados. (p. 426).

No que concordamos plenamente com os autores, de tal maneira que a leitura e inclusive a interpretação são imprescindíveis, para qualquer atividade intelectual. A leitura é a alavanca para o início do conhecimento, em todas as áreas, não podemos prescindir da leitura e interpretação.

Mais adiante Almeida e Mozena (2000, p. 437), afirmam que:

Segundo idéias bastante divulgadas de Kuhn (1977, p. 55), no ensino universitário a ciência é trabalhada visando à formação de futuros cientistas. Nesse sentido, textos originais de pesquisadores, que mostram os processos de obtenção do conhecimento não são utilizados. Segundo esse autor, a educação científica se caracteriza pelo uso de manuais didáticos com enfoque numa ciência acabada, apresentada na forma de verdades irrefutáveis. No trabalho citado, Kuhn fala, inclusive, de “uma adesão profunda a uma maneira particular de ver o mundo”, o que ele denomina de dogmatismo das ciências maduras.

Cavalcante e Nakamura (2001), em “*O Uso da Internet na Compreensão de Temas de Física Moderna para o Ensino Médio*”, apresentam uma metodologia na abordagem da descoberta do núcleo, tema de extrema importância na história da Ciência do Século XX e que, em geral, é tratado apenas na disciplina de Química no ensino médio brasileiro. Os autores afirmam:

Esta abordagem permite aos professores de física e química trabalharem de forma interdisciplinar, mostrando a interligação existente entre o conteúdo desenvolvido e as diferentes áreas do saber”. Além de usar recursos computacionais disponíveis

na Internet, segundo os autores do trabalho, “o equipamento construído por Ferreira et al. para o estudo da forma geométrica de diferentes alvos, a partir das leis de conservação de momento e energia. Isto permite a observação, de uma maneira simples, de fenômenos clássicos para grandes descobertas da física moderna. De acordo com os mesmos autores: este trabalho vai de encontro aos Parâmetros Curriculares Nacionais Para o Ensino Médio utilizando simulações computacionais de um modo interdisciplinar. (CAVALCANTE E NAKAMURA, 2001, p. 36).

Veit e Teodoro, em *Modelagem no Ensino / Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio* (2002), discutem a utilização das TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) no ensino por meio da Internet e *softwares* educacionais. Segundo os autores,

[As TIC] têm sido alvo de grande interesse, tanto para o ensino presencial quanto para o ensino aberto e a distância. Embora ferramenta indispensável para o ensino a distância e que em muito enriquece o ensino presencial, há que se tomar cuidado para que o uso do computador não se restrinja a uma *máquina de fornecer informação*, como aconteceu com grande parte dos programas tutoriais do passado. [...] Como a maioria dos educadores, defendemos o uso do computador como uma *ferramenta para auxiliar a construção do conhecimento*, perspectiva esta que teve como expoente Papert. (p. 17).

As chamadas TIC são hoje de muita utilidade e ferramentas importantes no Ensino a distância, seja nos cursos de graduação ou de pós-graduação. A midiáticação e a elaboração do material didático tem seu ritmo próprio, por se tratar de um estudo a distância, porém a Internet tornou isso muito mais próximo e mais efetivo. O material instrucional é diferenciado em relação ao do ensino presencial.

Magalhães et al. em “*Utilizando Tecnologia Computacional na Análise Quantitativa de Movimentos: Uma Atividade para Alunos do Ensino Médio*” (2002), reafirmam essa perspectiva:

O computador na sala de aula pode ser uma ferramenta cognitiva para o aluno, ao criar um ambiente de aprendizagem tal que nele os alunos possam desenvolver habilidades em um contexto que faça parte de sua vida real, em que haja aprendizagem colaborativa, ativa, facilitada, e os alunos possam cons-

truir a sua interpretação do mundo real, interiorizando os conhecimentos e organizando-os. (p. 26).

Temos de admitir que o importante é o uso de metodologias que possam auxiliar e facilitar ao aluno a compreensão do mundo físico.

Para o uso de tecnologias de informação e comunicação no ensino médio, destacamos o trabalho de Machado e Nardi (2006) em um curso de extensão para alunos do terceiro ano do ensino médio, um *software* educacional sobre temas de FMCEM. Trata-se de um hipertexto em uma perspectiva ausubeliana, que busca desenvolver os seguintes conceitos: (a) a equivalência entre massa e energia; (b) o caráter descontínuo da evolução do conhecimento e sua provisoriedade; (c) relação entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente; (d) o papel da ética na ciência. O *software* é constituído de seis módulos didáticos: visão geral (textos introdutórios sobre FC e FMC); teoria da RE (postulados, dilatação do tempo, e contração do espaço, *momentum* e energia relativística, teoria da relatividade geral (RG); tecnologia & sociedade (textos sobre Física Nuclear, reatores e armas nucleares, acidentes radiativos); história da Ciência (textos sobre o desenvolvimento histórico das teorias modernas, projeto Manhattan e bibliografia de A. Einstein); Filosofia & Ciência (metodologia dos programas de pesquisa, ciência e ética); fronteiras da Ciência (textos sobre buracos negros e ondas gravitacionais). Os resultados da avaliação mostraram que o uso do computador foi fator de motivação, a variedade de recursos de mídia favoreceu a visualização e a interpretação dos fenômenos abordados e a estruturação do hipertexto com base em hipertexto ausubelianos foram elementos facilitador da aprendizagem.

Fiolhais e Trindade, em *O Computador como uma Ferramenta no Ensino e na Aprendizagem das Ciências Físicas* (2003), expõem algumas dificuldades enfrentadas pelos estudantes na compreensão dos fenômenos físicos ao afirmarem que:

São conhecidas as dificuldades que muitos alunos apresentam na compreensão dos fenômenos físicos. Na nossa forma de entender esta problemática, a compreensão da FMC para nossos alunos não vai mudar tanto assim, porque é preciso mudar nossa forma de facilitar o conhecimento ao aluno, além de bons livros textos e interatividade e outros mecanismos de auxílio à aprendizagem, como a formação e atualização do professor. Entre as razões do insucesso na aprendizagem em Física são apontados, além de métodos de ensino desajustados das teorias de aprendizagem mais recentes, meios pedagógicos modernos. O computador oferece atualmente várias possibilidades para ajudar a resolver os problemas de insucesso das ciências em geral e da Física em particular. E prosseguem como conclusão: O potencial pedagógico dos computadores só poderá ser plenamente realizado se estiverem disponíveis programas educativos de qualidade e se existir uma boa articulação deles com os currículos e a prática. (p. 28).

Segundo Peduzzi e Basso, em *“Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio”* (2005),

A inserção da física moderna e contemporânea no Ensino Médio brasileiro é necessária e indiscutível. Nessa perspectiva, o livro didático é uma referência básica, pois representa a principal, se não a única, fonte de consulta do professor na preparação de suas aulas. (2005, p. 16).

Analisando diferentes livros didáticos, os autores concluem que apenas duas obras apresentam conteúdos históricos necessários, em princípio desejáveis, ao estudo do átomo de Bohr. É a seguinte a conclusão dos autores:

Constatou-se que a maioria das obras não contextualiza adequadamente o tema, além de não haver uma preocupação maior com o formalismo matemático. (PEDUZZI; BASSO, 2005).

Descrevendo uma experiência didática em que foi introduzido o uso das TIC no Ensino de Física em nível médio visando ampliar as possibilidades de produzir ganhos na aprendizagem dos estudantes, e utilizando como fundamentação teórica especialmente a Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel, Pires e

Veit afirmam em “*Tecnologias de Informação e Comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de Física no Ensino Médio*” (2006):

Constata-se que tempo considerável das aulas presenciais é desperdiçado em tarefas burocráticas e outras de pouca efetividade para uma aprendizagem significativa de Física, como avisos, chamadas, leituras de textos, anotações, gabaritos, exercícios de fixação, reduzindo ainda mais o nobre tempo da aula presencial. Estas tarefas podem ser disponibilizadas em uma plataforma de educação à distância ou remetidas via correio eletrônico, poupando tempo da aula presencial. (PIRES & VEIT, 2006, p.21).

Guerra, Braga, e Reis em interessante artigo intitulado “*Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem*” (2007), tecem importantes considerações sobre a necessidade de inclusão desse tópico fundamental da Física do Século XX, na primeira série do Ensino Médio:

Tal proposta foi construída a partir de uma abordagem histórico-filosófica da ciência, onde a relação entre a física com outras produções culturais constituiu-se no viés privilegiado para se trabalhar com os adolescentes as questões científicas respondidas pelos trabalhos de Albert Einstein. O tema continua sendo excluído da maioria dos exames de vestibulares nacionais. Fazendo uma retrospectiva, percebemos que no que tange ao ensino da física moderna, o cenário nacional não sofreu mudanças significativas após a publicação dos PCNs. Apesar desse não ser o elemento norteador do ensino médio, o privilégio atribuído à física clássica e ao formalismo matemático a ela inerente por parte desses exames reforça a resistência de muitos educadores em ampliar a abordagem da física para além do século XIX. Em relação aos livros didáticos houve mudanças. Na verdade a mudança não partiu de uma demanda dos professores, mas da exigência do Ministério da Educação da adequação dos livros didáticos às metas anunciadas nos PCN. (GUERRA; BRAGA; E REIS, 2007, p. 15).

Não poucas vezes, utiliza-se como argumento para a não inserção da FMCEM a falta de atualização dos professores. Embora este seja um forte argumen-

to, devem-se considerar as dificuldades inerentes ao processo de transposição didática, que é um fator preponderante nessas mudanças nas transições esperadas em termos curriculares. Nos PCN, vamos encontrar algumas considerações acerca do currículo que serão fundamentais para o nosso estudo:

O currículo é a expressão dinâmica do conceito que a escola e o sistema de ensino têm sobre o desenvolvimento dos seus alunos e que se propõe a realizar com e para eles. Portanto, qualquer orientação que se apresente não pode chegar à equipe docente como prescrição quanto ao trabalho a ser feito. O Projeto Pedagógico e o Currículo da Escola devem ser objeto de ampla discussão para que suas propostas se aproximem sempre mais do currículo real que se efetiva no interior da escola e de cada sala de aula. (BRASIL, 2008, p. 9).

Vemos, assim, que a necessidade de uma revisão curricular se faz urgente, visto que a mera superposição imposta de conteúdos novos pouca chance tem de se tornar operacional no âmbito da escola. Como expressão dinâmica do trabalho formativo que se realiza na escola, o currículo deve buscar, nas diferentes disciplinas, uma perspectiva integrada e integradora dos conteúdos. É nesse sentido que a Física, ao reivindicar a inserção de conteúdos modernos e contemporâneos, deve entender esse processo como uma revisitação dos conteúdos já tradicionalmente consolidados.

Oliveira, Vianna, e Gerbassi, em “*Física Moderna no ensino médio: o que dizem os professores*”, (2007), fazem as seguintes considerações propositivas:

O ensino de física no nível médio não tem acompanhado os avanços tecnológicos ocorridos nas duas últimas décadas e tem se mostrado cada vez mais distante da realidade dos alunos. Com base nos resultados da pesquisa elaboramos uma proposta metodológica para ensinar raios X com ênfase em Ciência – Tecnologia – Sociedade (CTS). Algumas pesquisas na área de ensino de física têm contribuído com propostas que apontam caminho para um ensino de física mais atual, eficaz e contextualizado. O resultado da análise de dados mostra um quadro favorável para a introdução de uma proposta metodológica com tópicos de física moderna e contemporânea, particularmente os raios – X. (OLIVEIRA; VIANA; GERBASSI, 2007, p. 14).

Outra pesquisa, de caráter propositivo em termos didáticos, nos é apresentada por Paranhos, Richard, e Pizani, em “*Lâmpada de Hg para experimentos e demonstrações de física moderna: introdução ao efeito fotoelétrico e outros tópicos*” (2009). Vejamos as considerações dos autores e o seu respectivo viés de abordagem:

A inserção de conteúdos de FMC no ensino médio regular aparece como um dos objetivos das novas diretrizes para o ensino de física. O objetivo concreto do trabalho é fornecer subsídios para o fomento a práticas e demonstrações de FMC e em particular: (i) uma proposta à introdução do efeito fotoelétrico, e (ii) alternativas para utilização de equipamentos em práticas e demonstrações de outros fenômenos quânticos e relativísticos. (PARANHOS; RICHARD; PIZANI, 2009, p. 12).

Ao situarmos a discussão em uma abordagem caracterizada como inserida no âmbito da linha de pesquisa Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), outros trabalhos se nos apresentam, como, por exemplo, o de Carsten-Wickham (2001). O autor desenvolveu um curso interdisciplinar que possibilitou a integração de dois campos distintos: Ciências Naturais e Ciências Sociais. O curso, intitulado “a era atômica”, examina a inter-relação entre eventos culturais, sociais, históricos e políticos e o desenvolvimento da Física na Europa e nos Estados Unidos na primeira metade do Século XX. O autor desenvolveu os temas (refugiados europeus, ciência americana e bomba atômica), a partir de uma combinação única de Física, Sociologia e Língua Alemã. As atividades didáticas consistiram em leituras acompanhadas de apresentação em *Power Point*, vídeos, filmes, e *slides*, materiais de áudio e alguns trabalhos de grupo. Os resultados da avaliação do curso realizado pelos estudantes mostraram-se satisfatórios.

Samagaia e Peduzzi (2004), preocupados em manter o estudante como centro das atividades em sala de aulas implementaram, em uma turma de 8.^a série do

ensino fundamental, um módulo didático sobre FMC, no contexto do Projeto Manhattan, 1945. Os autores utilizaram, como estratégia didática, uma técnica psicoterápica denominada RPG (*Roleplaying Game*) e estruturaram uma história (supostamente fictícia) que reproduziu o quadro da 2.^a Guerra Mundial. Os conteúdos contemplados ao longo da unidade didática foram: fissão nuclear; radiação; pesquisa e uso de armas químicas e biológicas; energia. Os resultados da pesquisa mostram uma grande receptividade da proposta por parte dos estudantes, além de evidências de aprendizagem dos conteúdos envolvidos.

Kofoed (2006) também apresentou um exemplo de jogos de papéis (*Roleplaying Game*), baseado em um projeto educacional envolvendo desenvolvimento e uso das bombas de Hiroshima e Nagasaki durante a Segunda Guerra Mundial. Fundamentado nos trabalhos de Gräber *et al.* (*apud* KOFOED, 2006), o projeto educacional *Dramatic Science Play* foi desenvolvido para as escolas de ensino médio da Dinamarca. Após a implementação do programa em 12 turmas, o autor submeteu seus alunos a um questionário semiaberto constituído de 56 questões. Os temas avaliados foram o jogo de papéis nas aulas de Física; o interesse dos alunos em Física e a Ética na Física, e os resultados mostram-se satisfatórios. Pode-se afirmar que os resultados estiveram em consonância com o propugnado nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, segundo os quais,

Na escola, uma das características mais importantes do processo de aprendizagem é a atitude reflexiva e autocrítica diante dos possíveis erros. Essa forma de ensino auxilia na formação das estruturas de raciocínio, necessárias para uma aprendizagem efetiva, que permita ao aluno gerenciar os conhecimentos adquiridos. (BRASIL, 2008, p. 12).

A reformulação do Ensino Médio no Brasil, estabelecida pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN) de 1996, regulamentada em 1998 pelas

Diretrizes do Conselho Nacional de Educação e pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), procurou atender a uma reconhecida necessidade de atualização da educação brasileira, tanto para impulsionar uma democratização social e cultural mais efetiva, pela ampliação da parcela da juventude brasileira que completa a educação básica, como para responder a desafios impostos por processos globais, que têm excluído da vida econômica os trabalhadores não qualificados, por conta da formação exigida de todos os partícipes do sistema de produção e serviços.

Por meio dos PCN+, a noção de competências nos leva à formação da autonomia crítica do educando, por meio de três aspectos: *intelectual*, que permite o pensamento independente, ou seja, pessoas que possam pensar por si mesmas; *político*, garantindo a participação ativa dos sujeitos na vida cidadã; e *econômica*, devendo assegurar uma formação para a sobrevivência material no mundo do trabalho.

Até aqui, a Humanidade, ao longo da história, acumulou uma enorme quantidade de conhecimento, que não se encontra apenas na escola.

Dessa forma, é necessário que se faça a escolha entre o que ensinar em Física e porque ensinar. A partir daí, teremos respostas para que iremos formar os nossos alunos, que formação terão eles? Cidadãos? Conscientes e críticos? O que será o amanhã para esses alunos? Qual a contribuição que farão para com o país? E que contribuição o país poderá lhes fornecer, nesse momento?

Por essas e outras perguntas, é que temos de formar um aluno que seja cidadão e crítico ao mesmo tempo e possa responder e pensar por si próprio, esse é o papel das competências e habilidades, não os preparamos mais somente para o

vestibular (aliás, isto nunca foi feito!), temos de prepará-los para enfrentar o cotidiano futuro, cheio de tecnologias, que ele possa compreender em que mundo está vivendo e se localizar no tempo e no espaço.

É por essa razão que temos que privilegiar espaços de discussão, tanto na escola como na sala de aula.

Utilizar como eixo organizador do trabalho pedagógico as competências desejadas é manter sempre presente a explicitação de objetivos da educação, mas também se transforma em uma estratégia para a ação dos professores. O problema central passa a ser, então, o de identificar as competências em Física desejadas. Mas ainda que uma reflexão mais aprofundada nos permita listá-las, essas listas serão sempre parciais, dada a abrangência das habilidades envolvidas. Caberá sempre ao professor, dentro das condições específicas nas quais desenvolve seu trabalho, em função do perfil de sua escola e do projeto pedagógico em andamento, selecionar, priorizar, redefinir e organizar os objetivos em torno dos quais faz mais sentido trabalhar. (BRASIL, 2008, p. 62).

Para fazer a proposição de inserir a FMCEM, teríamos que fazer uma análise crítica do ensino e das reformas educacionais no âmbito de nossas escolas, o que não é o foco nem o objeto deste trabalho, o que não nos desobriga de levantar alguns pontos, para que possamos refletir sobre os eles.

O Século XXI nos adverte para a preocupação com o futuro. Aponta-nos para a necessidade de olharmos a escola como formadora de cidadãos, cada vez mais há uma maior preocupação com problemas antigos que permanecem no seio da estrutura escolar, dificultando seu desenvolvimento e modernização.

De acordo com Terrazzan⁴, “aparelhos, artefatos e fenômenos cotidianos em uma quantidade muito grande apenas são compreendidos se alguns conceitos estabelecidos a partir do século XX forem utilizados. Para ele, a influência crescente dos conteúdos de física moderna e contemporânea (FMC) para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, e a inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão neste mesmo mundo, define, por si só, a necessidade de debatermos e estabelecermos as formas de abordar tais conteúdos na escola média. Conforme Terrazzan¹, no 2º. grau (hoje, Ensino Médio), devemos formar um cidadão pronto para a participação na sociedade, cuja formação deve ser global, pois sua capacidade de intervenção na realidade em que está imerso tem relação direta com sua capacidade de compreensão desta mesma realidade”. (TERRAZZAN, 1992, *apud* PENA, 2006, p. 13).

As afirmativas de Terrazzan são bem conscientes e maduras, porém acrescentaríamos mais um item, por ele levantado um pouco mais à frente: a questão da formação e atualização de professores para essa grande aventura no saber e conhecimento. Como diria Hobsbawm (2000, p. 504),

nenhum período da história foi mais penetrado pelas ciências naturais nem mais dependentes delas do que o século XX. Contudo, nenhum período, desde a retratação de Galileu, se sentiu menos à vontade com elas. Este é o paradoxo que tem de enfrentar o historiador do século. Mas, antes que eu tente fazê-lo, devem-se reconhecer as dimensões do fenômeno.

Sabemos que o material didático é um dos pilares de fundamental importância como auxiliar no ensino-aprendizagem e faz parte de qualquer pressuposto de mudança nos currículos escolares e como forma de inserir principalmente a FMCEM. Portanto, nada mais natural do que a produção em grande escala desses auxiliares do ensino-aprendizagem.

De uma maneira geral, os professores de Ciências, especificamente os de Física, continuam ensinando uma Física que marginaliza temas modernos e contem-

⁴ E. A. Terrazzan, Cad. Bras. Ens. Fis. **9**, 3 (1992).

porâneos, fragilizando dessa forma a formação científica na educação básica. Nesse contexto, surge como fundamental a reflexão sobre a temática. Segundo Ostermann & Moreira (2002),

Em vários países desenvolvidos, já foi superada a etapa de levantamento de justificativa para a inserção de FMC em seus sistemas escolares contemplam nos currículos, quase sem exceção, o tratamento de tópicos modernos. Já há algum tempo, vários materiais didático-pedagógicos vem sendo desenvolvido sob esse enfoque. No Brasil, no entanto, esse movimento está se expandindo de forma mais acelerada nos últimos cinco anos, principalmente, tendo em vista que a nova legislação recomenda que sejam contemplados conteúdos mais atuais nos currículos das escolas. (p. 12).

Ostermann (2005) vai além, ao afirmar, na apresentação de seu livro:

Este livro busca estimular o professor de ensino médio a tratar de um tópico de Física Contemporânea em suas aulas – a supercondutividade – a partir de uma abordagem qualitativa deste impressionante fenômeno. O objetivo central é discutir aspectos essenciais de sua descrição: propriedades básicas, teoria da supercondutividade, supercondutores do tipo II, principais aplicações tecnológicas e a pesquisa no Brasil. (OSTERMANN, 2005, p. 14).

As pesquisas e estudos de vários autores têm mostrado que o desenvolvimento de estratégias que possam promover a motivação e o diálogo nas áreas de ensino de Ciências, especialmente nas aulas de Física, é uma das vertentes que tem se destacado e a introdução de FMCEM, proporcionando ao educando uma atualização na grade curricular do Ensino Médio.

O educador que se limita a transmitir um programa de ensino ou que procura adaptar a inteligência do educando aos códigos ou modelos preestabelecidos do saber e não faz de seu ensino um meio de favorecer e desenvolver a reflexão do educando, só é educador por eufemismo. (JAPIASSÚ, 1991, p. 45).

Trata-se, com honrosas exceções, de um ensino pautado pela exploração excessiva de resumos e teorias, muitas vezes limitados à apresentação sumária de fórmulas, de leis, de conceitos e de definições da Física Clássica, seguidos de reso-

lução de inúmeros problemas-padrão. O significado físico de tais teorias, suas limitações e suas possibilidades de transformação, bem como as metodologias envolvidas e as tentativas de diálogo com o cotidiano, não são abordados. É também um ensino que não contextualiza as teorias apresentadas. Enfim, é um tipo de ensino estanque.

Segundo Oliveira,

É comum, nas aulas de física, os alunos trazerem discussões sobre assuntos que leram ou ouviram em revistas, jornais e telejornais e que, por serem mais atuais e/ou estarem presentes no seu dia a dia, despertam neles um interesse em conhecer e entender que princípios físicos explicam dado fenômeno. (OLIVEIRA, 2007, p.1).

O mundo contemporâneo exige, particularmente dos docentes e também dos nossos dirigentes, *transformações mais profundas em suas práticas educativas*. O modelo tradicional de ensinar e de gerir o sistema educacional já dá mostras, de há muito, do seu esgotamento. Faz-se necessário que nossos professores atualizem a sua formação científica e tecnológica e que os governos dêem o adequado suporte para que essas mudanças ocorram.

As consequências dessa deficiência formativa podem ser sentidas em nosso cotidiano escolar, fazendo com que os estudantes não se situem no tempo e no espaço da prática da Ciência, e da História da Ciência. Como bem coloca Laranjeiras (2009, p.1), terminamos por apresentar um “simulacro de ciência”.

De fato, na área de pesquisa em Ensino de Ciências, como afirma grande parte de seus pesquisadores, a quantidade e a qualidade dos trabalhos cresceram muito nas duas últimas décadas, tanto em nível de teses, dissertações etc., quanto em publicações nas várias mídias, tais como: revistas científicas, livros, Internet, po-

pularização da Ciência, publicações por meio de especialistas nas áreas, com tradução para o Português de várias obras clássicas da área científica etc.

Porém, faz-se necessário maior inserção do professor nesse processo, com apoio das secretarias de educação e das universidades, assim como por meio dos governos local, federal, estadual e municipal em um conjugado de forças para alavancar o desenvolvimento do país, sabendo que a Ciência gera tecnologia e conhecimento e eleva a sociedade para um novo e melhor patamar.

De fato, no nosso convívio escolar, não temos uma tradição cultural, tanto do ponto de vista científico como também na forma de apropriação do desenvolvimento da Ciência e de tecnologia, a maioria da população fica à margem dos benefícios que a Ciência nos traz, e a escola, nesse momento, é ultrapassada pelos fatos em grande velocidade, precisamos mudar os rumos dessa realidade.

Trabalhos têm apontado como sendo de vital importância fazer chegar às mãos dos professores materiais didáticos que atendam às demandas de um currículo renovado, integrado e integrador dos diferentes conhecimentos considerados relevantes..

A insuficiência do livro didático é outra barreira, a ser superada nessa grande caminhada para superar esses saltos que se esperam na Educação, por meio de nossos professores. São livros que obedecem no geral à mesma ordem de conteúdos e formas, no campo editorial, com muito poucas exceções, como afirma Terrazzan:

Atualmente, a maioria absoluta dos livros didáticos nacionais de física para o 2.º grau (atual Ensino Médio), disponíveis no mercado, segue a tradicional macrodivisão já comentada ante-

riormente, ou seja, mecânica, física térmica, óptica e eletromagnetismo. (TERRAZZAN, 1994, p. 49).

Porém, essas discussões precisam chegar ao conhecimento da maioria dos professores, por meio de cursos, mídias etc.

É importante ressaltar que, no que se refere à investigação e também à qualidade, e nossa produção nessa área de pesquisa se compara à de países mais avançados, demonstrando a capacidade da massa crítica no país. Temos de investir nessa direção.

O debate e o uso do conhecimento discutido em congressos, simpósios, fóruns, encontros e em outros diferentes espaços educativos podem permitir uma atuação do professor de forma mais efetiva, promovendo a educação científica nas várias esferas do ensino.

A Física, da forma como é tratada nas escolas, acaba tendo uma conotação como afirma MENEZES (2009), a seguir, causando prejuízos tanto a quem recebe a informação a respeito dessa ciência, como para quem auxilia na transmissão desse próprio conhecimento. Senão, vejamos a seguinte afirmativa:

[...] a física é ensinada como se fosse uma descrição inoxidável da natureza, que não tivesse história nem contradições; por outro, é como se essa ciência estivesse à parte das técnicas que envolvem todos os aspectos da vida humana, podendo assim ser apresentada sem referência a elas. No mundo de hoje, todos os professores e alunos sintonizam diariamente rádios e TVs, utilizam controles remotos e estão familiarizados com celulares, seus transmissores e receptores de bolso, mas as ondas eletromagnéticas são pobremente discutidas, em termos de sua forma de propagação, transmissão ou blindagem. E não se desenvolve uma efetiva aprendizagem com qualquer abrangência ou profundidade, porque ela é incorretamente associada a uma proibitiva complexidade matemática pela qual os professores passaram em sua formação superior, se é que passaram. (MENEZES, 2009, p. 31).

De fato, conforme a afirmação acima, estamos a colher o atraso em que nos encontramos com relação aos conteúdos de FMC nos dias de hoje.

É o que afirmam Ostermann e Cavalcanti (ano XX), na mesma direção que Menezes. Isso demonstra a clareza e a visão da relevância da inserção da FMC no Ensino. Há longo tempo que os estudiosos da Área vêm afirmando e reafirmando, com muita propriedade, esses pontos importantes na inclusão da Física Contemporânea, senão vejamos como se expressa os autores citados anteriormente:

Além da desatualização curricular, desmotivação dos estudantes, abordagem excessivamente formalista, ênfase Além da desatualização curricular, desmotivação dos estudantes, abordagem excessivamente formalista, ênfase no ensino da cinemática e baixa qualificação acadêmica dos professores, a ausência da FMC nos currículos escolares também é um problema para a qualidade do ensino de Física nas escolas. (OSTERMANN & CAVALCANTI 2001, p. 21).

É importante até para registrar, do ponto de vista histórico, como vem evoluindo, do ponto de vista didático, o material oferecido aos professores e aos alunos de nossas escolas, no país.

Assim, não vou me deter, neste rápido olhar, senão nos textos didáticos que resultam de projetos de ensino elaborados por equipes. Do ponto de vista da seqüência e dos conteúdos curriculares, inúmeros livros-texto brasileiros são “*cópias disfarçadas*” uns dos outros, razão pela qual perdem sentido para o que interessa a presente análise. (TERRAZZAN, 1994, p. 49).

Por essa e outras razões é que não se pode mais discutir se FMCEM é ou não relevante para o Ensino Médio e sim formar equipes que poderiam *produzir material didático*, para que possamos implementar, e lançar nossas escolas no Século XXI.

Vejamos o que afirma Terrazzan no mesmo texto:

O que ocorreu é que, a partir do início da década de 70 (1970), devido à alteração do sistema de ingresso nas universidades

brasileiras, os cursos pré-vestibulares, popularmente conhecidos como “cursinhos”, foram adquirindo uma influência crescente sobre o ensino médio. Assim, vários manuais e apostilas preparados por professores dos maiores destes cursos, acabaram por se transformar em livros didáticos para o 2º. Grau (Ensino médio). No ensino de física esse processo foi muito rápido e um ou dois destes textos alcançaram grande sucesso de vendas, tornando-se, infelizmente, padrão para “inspirar” outros autores que vieram a seguir. (TERRAZZAN, 1994, p. 37)

Isso vem demonstrar o quanto períodos obscuros atrasam a vida futura de um país.

E Terrazzan vai mais além:

De lá para cá, acompanhando e também colaborando para a queda da qualidade de ensino, os manuais didáticos foram apenas “enxugando” as apresentações teóricas e concentrando-se na quantidade de exercícios resolvidos. Desde então foram mais de duas décadas de sucessivos lançamentos de novas coleções didáticas de física com novas apresentações gráficas, porém sempre com os mesmos velhos conteúdos e, pior, as velhas abordagens. (TERRAZZAN, 1994, p. 39).

Passadas quase duas décadas, houve uma série de mudanças na lei e introdução de outras e como sabemos os “*velhos cursinhos*” continuaram se transformando em escolas de Ensino Médio, faculdades e até universidades, muitas com qualidade de ensino bastante duvidosa.

Capítulo 2 – Fundamentos Teóricos e Metodológicos

A perspectiva educacional de Paulo Freire constitui-se aqui como um referencial de natureza pedagógica, que nos permitirá reunir e incorporar elementos dialógicos à nossa reflexão e proposta. Seus estudos, fundados em sua prática pedagógica, situando o diálogo como elemento constituinte e articulador de todo e qualquer processo de conhecimento, nos permitirão uma abordagem dinâmica ao processo de ensino-aprendizagem.

Em toda sua obra Paulo Freire nos desafia a busca pelos princípios fundamentais de uma educação que se concebe como prática libertadora. Nos leva a meditar sobre o que fazer e como fazer na constituição de uma educação que não reduz os sujeitos meramente à sua capacitação técnica e sim que se decifrem a si mesmos como homens na situação concreta em que vivem.

Na tentativa de encontrar a dimensão epistemológica que a dialogicidade proposta por Freire pode conter, recorreremos à Epistemologia Histórico-Crítica de Gaston Bachelard, em cujas categorias conceituais fomos buscar referências, também constitutivas e essenciais ao trabalho didático-pedagógico com a Física.

A articulação entre essas duas dimensões do processo pedagógico, o *Dialógico* de Freire e o *Epistemológico* de Bachelard, nos permitirá vislumbrar a Ciência, mais especificamente a Física, em uma perspectiva cultural.

Essa dimensionalidade articulada do processo educativo, construída a partir desses dois autores, tanto nos fundamentará teoricamente quanto metodologicamente.

2.1 - A Dialogicidade como Elemento Constitutivo da Comunicação Educativa.

O caráter didático-pedagógico da obra de Paulo Freire (1921-1997) é uma das maiores aquisições do conhecimento libertador na história da educação no Brasil, sendo ele um dos maiores colaboradores para a educação mundial. Suas contribuições, seja no campo educacional-pedagógico ou em outras áreas do conhecimento, são reconhecidas pelas suas obras, de grande valor, e também pela sua *práxis*, na qual ação e reflexão se solidarizam, se iluminando constante e mutuamente. Uma ação pedagógica que não dicotomiza teoria e prática, porque as concebe como uma unidade.

No âmbito dessa perspectiva educacional, o aluno é situado como o centro da ação educativa, não como *objeto* da mesma, como *sujeito* de uma prática educativa compartilhada entre diferentes atores, ambos constituídos como Sujeitos.

Para Freire:

[...] educar e educar-se, na prática da liberdade, é tarefa daqueles que sabem que pouco sabem – por isto sabem que sabem algo e podem assim chegar a saber mais – em diálogo com aqueles que, quase sempre, pensam que nada sabem, para que estes, transformando seu pensar que nada sabem em saber que pouco sabem, possam igualmente saber mais. (FREIRE, 2006, p. 25).

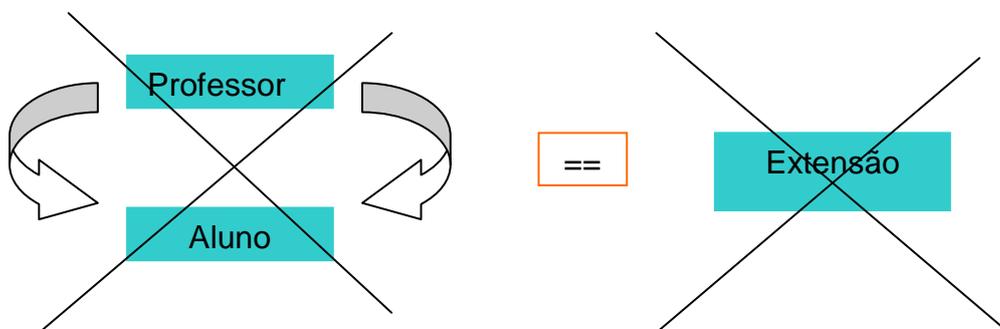
A pedagogia de Freire situa o diálogo como elemento constitutivo do processo de ensino-aprendizagem. Vejamos em suas próprias palavras, em Pedagogia da

Autonomia:

Não devo pensar apenas sobre os conteúdos programáticos que vêm sendo expostos ou discutidos pelos professores das diferentes disciplinas, mas, ao mesmo tempo, a maneira mais aberta, dialógica, ou mais fechada autoritária, com que este ou aquele professor ensina. (FREIRE, 2005, p. 90).

A reflexão filosófica também é colocada por Paulo Freire como uma questão importantíssima no âmbito das relações entre extensão e comunicação e como o homem percebe essas relações com o mundo.

Em sua obra “Extensão ou comunicação?”, Freire aprofundou e discutiu o problema da comunicação em contraposição a extensão em situações envolvendo os técnicos agrícolas e camponeses no processo de reforma agrária no Chile na década de 1970. Segundo ele, buscando levar conhecimento aos camponeses sem considerar suas experiências, tradições e cultura, os técnicos agrícolas promoveram um processo antidialógico o qual Freire denominou “extensão”. Nesse processo, o conhecimento é levado desde a “*sede do saber*”, até a “*sede da ignorância*”. O professor, no caso, o técnico agrícola, transfere algo e os deposita nos educandos, em uma via de mão única, como ilustra a figura abaixo.



Nesse tipo de relação, segundo Freire, não há conhecimento, pois o ato de conhecer

[...] exige uma presença curiosa do sujeito face ao mundo. Requer sua ação transformadora sobre a realidade. Demanda busca constante. Implica invenção e reinvenção[...].” (FREIRE, 1982, p.32).

Como podemos perceber, esses elementos estão ausentes na relação vertical entre os agentes do aprendizado.

Em contrapartida, em uma relação dialógica, caracterizada pela comunicação, faz-se necessário que o educador considere o universo dos alunos. O diálogo deve ser alimentado com problemas e questões que possam ser compartilhadas por todos, colocando o educando em uma posição de agente, que é ouvido, que propõe problemas, que participa na resolução. Nesse tipo de relação, o conhecimento a ser apreendido e o conhecimento pré-existente são fontes de onde emergem as questões do processo comunicativo, ficando, assim, caracterizados como mediadores do processo de aprendizagem. Essa dinâmica garante uma relação horizontal entre os envolvidos no ato de aprender, como representa a figura abaixo:



Em síntese, a pedagogia de Freire, ao apresentar o diálogo como elemento central que condiciona a validade do conhecimento e ao discutir os níveis e as condições para que isso se estabeleça, coloca a educação como uma situação gnosiológica, na qual o conhecimento se estabelece nas relações dialéticas entre o homem e a Natureza e entre o homem e os outros homens.

No entanto, é preciso atenção e cuidado, pois, nas palavras de Freire,

O fundamental, porém, é que esta reflexão, de caráter teórico, não se degenere nos verbalismos vazios nem por outro lado, na mera explicação da realidade que devesse permanecer intocada. Em outras palavras, reflexão em que a explicação do mundo devesse significar a sua aceitação, transformando-se, desta forma, o conhecimento do mundo em instrumento para a adaptação do homem a ele. (FREIRE, 2006, p. 27).

Esse ensino pode ser praticado de várias formas, em diferentes contextos: dialogando com seus alunos, trocando experiências em conjunto, e propiciando ao

educando a capacidade de aprender, comunicando-se com ele. Por outro lado, pode ser um ensinar extremamente penoso, no sentido de gerar verdades absolutas por parte do educador, precisamente quando se trata das disciplinas da Área de Ciências como verdades eternas. O professor autoritário e domesticador impõe, dessa forma, aos seus educandos, a sua visão distorcida da Ciência e do ensinar Ciência, não em uma perspectiva dialógica, mas sim como forma de dominação.

A educação é comunicação, é diálogo, na medida em que não é transferência de saber, mas um encontro de sujeitos interlocutores que buscam a significação dos significados. (FREIRE, 2006, p. 69).

Freire situa claramente a educação autêntica como um processo comunicativo, não como transferência de conhecimentos, mas como um processo compartilhado de saberes. Por processo comunicativo, entenda-se aqui o resultado de uma relação dialógica estabelecida entre sujeitos que querem conhecer, estando mediados por um objeto de conhecimento. Para Freire,

O que se pretende com o diálogo, em qualquer hipótese, (seja em torno de um conhecimento científico e técnico, seja de um conhecimento “experencial”), é a problematização do próprio conhecimento em sua indiscutível relação com a realidade concreta na qual se gera e sobre a qual incide, para melhor compreendê-la, explicá-la, transformá-la. (Ibid, p. 52).

Esse processo exige o acordo entre os sujeitos comunicantes quanto aos signos linguísticos utilizados no processo de comunicação, ou seja, a expressão verbal de um dos sujeitos tem de ser percebida e compreendida pelo outro sujeito do processo. No caso do ensino de Física, essa observação é fundamental, visto que os níveis de formalização matemática da Ciência constituem-se em expressões linguísticas do discurso científico.

O ato de conhecer, em Freire, referencia-se fundamentalmente em uma concepção de homem como um ser do mundo, que vive e se estabelece em uma teia dinâmica de relações constantes, daí que o diálogo seja um elemento fundamental, diálogo que

Exige uma presença curiosa do sujeito em face do mundo. Requer sua ação transformadora sobre a realidade. Demanda uma busca constante. Implica em invenção e em reinvenção. Reclama a reflexão crítica de cada um sobre o ato mesmo de conhecer, pelo qual se reconhece conhecendo e ao reconhecer-se assim percebe o “como” de seu conhecer e os condicionamentos a que está submetido seu ato. (FREIRE, 2006, p. 27).

Fica, portanto, explicitado o papel atribuído ao homem, de sujeito, de agente do conhecimento.

O homem, que não pode ser compreendido fora de suas relações com o mundo, de vez que é um “ser-em-situação”, é também um ser do trabalho e da transformação do mundo. O homem é um ser da “práxis”; da ação e da reflexão. (FREIRE, 2006, p. 28) .

O homem, dessa forma, é senhor de suas próprias ações. As relações com o mundo fazem com que tenha o seu próprio modo de agir marcado pelos seus resultados transformando a realidade que o rodeia.

[...] O homem, como um ser de relações, desafiado pela natureza, a transforma com seu trabalho; o que o resultado desta transformação, que se separa do homem, constitui seu mundo. O mundo da cultura que se prolonga no mundo da história. (FREIRE, 2006, p. 65).

Paulo Freire, mais uma vez, defende que a intersubjetividade não existiria como tal se não houvesse a intercomunicação que é característica primordial deste mundo cultural e histórico.

2.2 - Promovendo Rupturas e Transpondo Obstáculos de Natureza Epistemológica no Processo Educativo

Gaston Bachelard nasceu em *Bar-sur-Aube*, França, em 27/6/1884, e faleceu em *Paris*, em 16/10/1962. Bachelard tornou-se filósofo tardiamente. Antes disso, lecionou Física e Química no *collège* de sua cidade natal. Seu conhecimento de Física permitiu-lhe determinar, posteriormente, a mudança epistemológica acarretada pela Ciência Moderna e, em especial, aquilatar a distância crescente entre ela e a Física Clássica, que, de repente, tornara-se apenas relativa. Bachelard nunca se contentou em meramente apontar os arcaísmos obstrutivos. Foi mais longe, apresentando ao leitor as categorias mais abstratas da Ciência Contemporânea. A partir de generalidades, passou a fazer análises especializadas do ponto, do corpúsculo, do movimento, do espaço e da simultaneidade. Simplificou também a dialética contida em aparelhos que encarnavam teorias: a câmara de Wilson, o espectroscópio e o acelerador de partículas. A “fenomenotecnologia” substituiu os instrumentos baseados em sistemas de cálculo, o probabilismo substituiu o realismo, e o discursivo substituiu o intuitivo. Trabalhou questões epistemológicas, tanto na Física quanto na Matemática e na Química, possui uma quantidade imensa de obras, que varia desde o campo da Ciência até o da Epistemologia e da Poesia. Em sua imensa obra, não há textos exclusivamente voltados para a questão educacional, porém, ele pontua suas análises filosóficas com interpretações a respeito do conhecimento científico na escola, em seu livro “A formação do Espírito Científico” (Bachelard, 1996), editado em 1938.

Os conceitos de Ruptura e de Obstáculo Epistemológico são a base da discussão do conhecimento científico na epistemologia Bachelardiana. Para Bachelard,

a Ciência se caracteriza epistemologicamente como um domínio de pensamento que promove uma ruptura com o conhecimento vulgar. Para Bachelard,

A ciência, em sua necessidade de coroamento como por princípio, opõe-se de modo absoluto à opinião. Se lhe acontece, numa questão determinada, de legitimar a opinião, é por razões que não sejam as que fundamentam a opinião; de modo que a opinião, de direito, nunca tem razão. A opinião pensa mal; ela não pensa: ela traduz necessidades em conhecimentos. Ao determinar os objetos pela sua utilidade, ela se impede de conhecê-los. Nada se pode fundar sobre a opinião: é preciso destruí-la. Ela é o primeiro obstáculo a superar. (BACHELARD, 1996, p.18).

O termo “Ruptura” é usado na epistemologia de Bachelard para indicar uma descontinuidade entre o conhecimento comum e o conhecimento científico e também, no interior da Ciência, para caracterizar a passagem de um ciclo evolutivo para outro.

Para Bachelard, os Obstáculos Epistemológicos são:

Lentidões e perturbações que, por uma espécie de necessidade funcional, causam inércia, estagnação e regressão no ato do conhecimento. [...] Não se trata de obstáculos externos, como a complexidade ou a fugacidade dos fenômenos, nem tampouco internos como a fraqueza dos sentidos e do espírito humano [...] trata-se antes, de um impedimento que aparece no ato mesmo de conhecer. É antes uma espécie de resistência implantada previamente, de tal modo que o conhecimento sempre se faz contra um conhecimento anterior. Conhecer seria destruir conhecimentos mal feitos, superando o que constitui no próprio espírito, obstáculo à espiritualização. (BACHELARD, 1996, p. 49).

Bachelard ressalta a necessidade dos professores conhecerem as concepções prévias dos alunos (seus conhecimentos anteriores ao processo de ensino) e coloca a problemática do obstáculo pedagógico:

Os professores não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana. (1996, p. 23).

A obra de Bachelard introduziu a noção de *obstáculo epistemológico*, fazendo ao mesmo tempo uma análise epistemológica e psicológica dos obstáculos à formação do conhecimento científico.

Os obstáculos estariam fundamentados na experiência primeira, no conhecimento geral, no abuso das imagens usuais, no conhecimento unitário e pragmático, no substancialismo, no realismo, no animismo e no conhecimento quantitativo, e seriam as causas da estagnação e até regressão do progresso da ciência.

O trabalho de Bachelard nesta obra sobre a formação do espírito científico contribuiu imensamente para a compreensão de como a forma da linguagem pode dificultar o trabalho do cientista e constituir um obstáculo epistemológico ao pensamento científico. Para ele, a noção de obstáculo epistemológico pode ser estudada tanto no desenvolvimento histórico do pensamento científico, como também na Educação, pois esses mesmos obstáculos constituem-se em obstáculos pedagógicos para o ensino de Ciências.

Segundo Santos (1991, p. 23),

A concepção de Bachelard sobre o progresso da ciência é a de que esse não é linear, mas sim descontínuo, dialético e inacabado. Na perspectiva bachelardiana, a ciência nos põe em presença de revoluções e não de evoluções; o avanço da ciência se dá, portanto por descontinuidades ou rupturas onde a ruptura é um não, é uma negação a um passado de erros.

Uma das preocupações epistemológicas de Bachelard é investigar as fontes dessas rupturas.

Para ele, há uma grande ruptura entre o conhecimento científico e o conhecimento comum, pois, enquanto o conhecimento vulgar permanece ligado a princípios

empiristas de generalidade, de utilidade, de finalismo, o conhecimento científico está cada vez mais ligado a princípios racionais, é cada vez mais teórico.

Quando o espírito se apresenta à cultura científica, nunca é jovem. Aliás, é bem velho, porque tem a idade de seus preconceitos. Aceder à ciência é rejuvenescer espiritualmente, é aceitar uma brusca mutação que contradiz o passado. (BACHELARD, 1996, p. 18).

Com isso, Bachelard proporciona as alternativas, explora as contradições e limitações do velho conhecimento e, dessa forma, promove as rupturas entre o conhecimento que possui por base o senso comum e o conhecimento científico.

2.3 – Lições de Física: Quando o Pedagógico e o Epistemológico se Encontram na Operacionalização do Processo de Ensino-Aprendizagem

O desafio que se nos apresentam foi o de, referenciado nas diferentes e complementares concepções teóricas discutidas no item anterior, organizar um Material Didático Instrucional (MDI) que possibilitem ao professor e ao aluno um contato cultural com os conhecimentos de Ciência, mais especificamente da Física.

Nessa direção, pode-se desde já afirmar que as Lições de Física, que são aqui apresentadas nos Apêndices A, B, C e D (foram produzidas duas lições de Física com orientações a professores e alunos), na forma de uma proposição didática, se constituem inicialmente como um Material Didático Instrucional (MDI). Isso implica compromissos, intencionalidades pedagógicas que se organizam em uma estrutura constituída de três momentos pedagógicos, a saber:

- i. Contextualização Inicial;
- ii. Construção do Conhecimento;
- iii. Síntese e Aplicação do Conhecimento.

A **Contextualização Inicial** é o momento em que se busca o sentido do conhecimento, momento em que são levantadas questões, cujas respostas constituirão o conhecimento apreendido. Resgata-se aqui a dimensão epistemológica de Bachelard, para quem, “todo conhecimento é resposta a uma questão. Se não houver questão não pode haver conhecimento científico” (BACHELARD, p. 18).

Na **Construção do Conhecimento**, o conhecimento científico é mobilizado na estrutura cognitiva do sujeito aprendiz visando ao equacionamento e à solução de problemas surgidos na fase Contextualização Inicial.

Como terceiro momento das Lições de Física, um momento de **Síntese e Aplicação do Conhecimento**, a dimensão operacional do conhecimento se explicita, abrindo espaço também para o surgimento de novos questionamentos.

Em termos de conteúdo, foi explorado o tema Espectroscopia. A escolha do tema deve-se a sua potencialidade instrucional no campo da FMCEM, possibilitando-nos um enfoque integrado e integrador de diferentes elementos constitutivos do estudo da estrutura da matéria.

Defende-se aqui a ideia de que a Cultura Científica na educação básica deve considerar dois aspectos dinamicamente complementares: de um lado, os aspectos conceituais da Ciência, e de outro, aqueles referentes à Natureza da Ciência. O primeiro refere-se aos conceitos, leis, formalismos matemáticos e modelos que utilizamos na Ciência para descrever interpretar e modelar a Natureza, relacionando-se ao produto do conhecimento científico, aos modelos atualmente aceitos, à descrição matemática e à interpretação que fazemos de determinados fenômenos. O segundo aspecto é a natureza da Ciência, integrada pela Epistemologia, Filosofia e História da Ciência, que relata a dinâmica de como o conhecimento científico é construído, como o cientista desenvolve e justifica a sua prática científica, quais mudanças de paradigmas ocorreram, as competições entre teorias concorrentes, as influências socioeconômicas de determinadas ideias, enfim, é uma dimensão mais interpretativa.

Capítulo 3 – Espectroscopia: Explorando a Natureza Íntima da Matéria

No princípio da história da Astronomia, em torno de 2.000 a.C., portanto cerca de 4.000 anos atrás, as estrelas eram percebidas como meros pontinhos de luz no céu noturno – distantes demais para revelar detalhes em observação a olho nu. Mas à medida que o poder de concentrar luz dos instrumentos astronômicos foram desenvolvidos, os astrônomos conseguiram fazer um uso mais sofisticado da luz estelar distante.

Isaac Newton (1642-1727) decompôs a luz solar através de um prisma no final do Século XVII, mas foi William Hyde Wollaston (1766-1826) que refinou o processo, desenvolvendo inicialmente um tipo de espectroscópio – um aparelho para analisar comprimentos de onda emitidos por um objeto. Em 1821, o cientista alemão Joseph Von Fraunhofer (1787-1826) descobriu que a luz do Sol decomposta por meio de um espectroscópio não era um espectro contínuo de cores, sendo composta por muitas linhas escuras. Em 1859, seus compatriotas Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) e Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) demonstraram que essas linhas resultavam da presença, na atmosfera do Sol, de substâncias químicas que, quando aquecidas em laboratório, emitiam os mesmos comprimentos de onda que absorviam, é claro depois que os dois trabalhando conjuntamente desenvolveram e aperfeiçoaram um instrumento chamado: **Espectroscópio**.

A luz das estrelas era muito fraca para ser analisada dessa maneira, mas o advento da fotografia durante o Século XIX permitiu, por fim, exposições longas que captavam o espectro das estrelas com o tempo. Nesse ínterim, em 1858, o astrôno-

mo alemão Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) fez outro grande avanço usando pela primeira vez paralaxe para medir a distância até uma estrela.

O século XX foi um dos séculos revolucionários no avanço da Ciência, além de consolidar outros avanços no dizer da Ciência e de outras áreas, e nos fatos que por si só demonstram.

Foi nesse período, em 1887, que Heinrich Hertz (1857-1894) realizou as experiências que confirmaram a existência de ondas eletromagnéticas, ao demonstrar que elas tinham todas as propriedades das ondas luminosas previstas anteriormente por James Clerk Maxwell (1831-1879) e ainda observou que uma descarga elétrica entre dois eletrodos dentro de uma ampola de vidro é facilitada quando a radiação luminosa incide em um dos eletrodos, fazendo com que elétrons sejam emitidos de sua superfície. Esse fenômeno foi chamado efeito fotoelétrico.

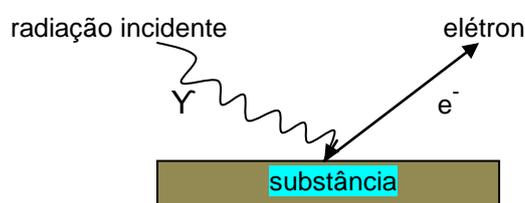


Fig. 1 – Representação esquemática da incidência de radiação em uma superfície metálica.

Já em 1900, o físico alemão Max Planck (1858-1947) lançou a hipótese de que os corpos aquecidos emitiam energia radiante em “pacotes” discretos que ele chamou de *quanta* plural de *quantum*.

Com a descoberta do elétron no século anterior por Joseph John Thomson (1856-1940), em 1897, e, com a investigação sobre a radioatividade pela mesma época, os experimentos começaram a sondar a estrutura íntima da matéria.

De acordo com Planck, a energia de cada pacote de energia é proporcional à frequência da radiação. Essa hipótese, que marcou o início da Teoria Quântica, iniciou uma revolução de ideias que mudou por completo a maneira segundo a qual nós pensamos o mundo físico.

Desenvolvimentos posteriores de teoria, primeiro por Albert Einstein (1879-1955), por meio do efeito fotoelétrico, e depois, por meio de Niels Bohr (1855-1962), em 1913, com a estrutura atômica dos elementos, permitiram a articulação de todo um programa de pesquisa, que culminou com a formulação da Mecânica Quântica.

Como fruto de todo um desenvolvimento teórico e experimental nesse campo, foi possível o desenvolvimento de métodos e técnicas que nos possibilitam hoje investigar a natureza íntima da matéria. Entre essas técnicas, vamos encontrar a espectroscopia, um processo de investigação cujo fundamento se encontra na interação da radiação com a matéria.

Ao longo de todo esse desenvolvimento, é importante enfatizar o papel desempenhado pela instrumentação científica no desenvolvimento da Ciência.

Nas próximas duas seções (3.1 e 3.2) buscamos desdobrar essa temática em uma abordagem pedagógica voltada para a Educação Básica, mais especificamente o Ensino Médio, retomada nos apêndices 1 e 2 na forma de exercício aplicativo de natureza didático-pedagógica em torno do tema.

Na primeira das referidas seções a abordagem recai sobre a espectroscopia como mecanismo de exploração da natureza íntima da matéria. O exercício, sobretudo da linguagem e da adequação conceitual, nos permitirá encontrar conexões a serem exploradas quando da construção das Lições de Física. Na seção 3.2, enfo-

camos com mais especificidade o papel da instrumentação no desenvolvimento da Ciência, fazendo dos espectroscópios o nosso condutor na trilha da Ciência.

3.1 – A Informação como Resultado da Interação Radiação – Matéria

Ao leitor não especializado pode parecer surpreendente, e até muitas vezes vertiginosa, a quantidade de informações e conhecimentos reunidos pela Ciência acerca do nosso mundo. Não que essa sensação não atinja os cientistas que, por conhecerem muitos detalhes desse processo, não raro se surpreendem até mais do que o leigo. Do que é feito o Sol? E as tantas outras estrelas que uma noite de céu limpo é capaz de nos brindar de maneira sempre intrigante? Esses astros estão tão distantes de nós e assim mesmo conseguimos saber em detalhes a sua composição? Respostas para essas, aparentemente misteriosas, questões são algumas das conquistas da Espectroscopia. Mas a coisa não para por aí. Novos elementos químicos foram descobertos a partir dela. Na indústria e até mesmo em laboratórios de análise clínica ela tem sido importante.

Em linhas gerais, pode-se dizer que a Espectroscopia é todo e qualquer processo de investigação das propriedades da matéria por meio da sua interação com a radiação. Sempre que fazemos radiação interagir com a matéria, esta pode tanto absorver, emitir, quanto espalhar radiação em uma dada frequência, dando-nos informações valiosas sobre a sua estrutura físico-química. O mapeamento gráfico dessas informações constitui aquilo que os pesquisadores chamam de Espectro da amostra analisada. É uma espécie de impressão digital do material analisado.

Retomemos com um pouco mais de detalhe o delineamento de toda essa história.

Ainda no século XVII, Isaac Newton (1643-1727) nos descreveu adequadamente o fenômeno da decomposição da luz do Sol por um prisma, desvendando o variado e belo espectro de cores [aquelas que os antigos conheciam tão bem por meio do fenômeno do arco-íris], que se escondiam na luz branca. Ele ainda nos mostrou, utilizando um segundo prisma, como reconstituí-la em sua versão original.



Fig. 2 - Reprodução de Ilustração de montagem utilizada por Newton em seus estudos de decomposição da luz através de prismas. Fonte: Opticks, 1952, Dover Publications, INC, New York.

Mas isso era só o início, digamos que a parte visível de todo o processo. Hoje sabemos muito bem que o espectro solar é também composto por radiações invisíveis ao olho humano, situadas nas regiões abaixo do vermelho (infravermelho) e acima do violeta (ultravioleta). Para essa conclusão contribuíram pesquisadores que, embora menos conhecidos do público geral, não foram menos importantes para a Ciência. O químico e farmacêutico de origem sueca Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), o físico alemão Johann Wilhelm Ritter (1776-1810), o químico britânico William Hyde Wollaston (1776-1828) e o astrônomo inglês William James Herschel (1738-1822) foram alguns dos personagens desse trabalho.

Mas há um detalhe aqui de grande relevância.

Ao longo da sua pesquisa, o químico britânico William Hyde Wollaston, acima referido, fez uma descoberta-chave que desencadeou importantes desdobramentos.

Inspirado na experiência de Newton, mas diferente desse, trabalhando com uma fenda muito estreita (da ordem de 0,01mm), Wollaston percebeu que o espectro solar apresentava linhas negras sobrepostas às cores brilhantes. O alemão Joseph von Fraunhofer (1787-1826), habilidoso construtor de instrumentos óticos, utilizando prismas e redes de difração, constatou que essas linhas negras chegavam as centenas. O espectro de von Fraunhofer, representado na figura abaixo, nos dá uma boa ideia desse processo.



Fig. 3 – Espectro de Fraunhofer.

Hoje sabemos que as Linhas de Fraunhofer (foi assim que essas linhas negras do espectro solar ficaram conhecidas) chegam aos milhares, estendendo-se nas regiões invisíveis do espectro.

Neste momento, você pode estar se perguntando: qual a importância disso? Afinal de contas, isso tudo parece ser um mero detalhe. Detalhes! Parece que são neles que, quase sempre, encontramos as melhores coisas.

Você já passou pela experiência de deixar cair um pouco de sal de cozinha (cloreto de sódio) na chama do seu fogão? Isso geralmente ocorre com aqueles cozinheiros apressados (como eu) que, de repente, se dão conta de que haviam esquecido de por o sal no momento certo do cozimento do alimento... Se ainda não teve essa experiência, por favor, vá até o seu fogão, acenda a chama e salpique-a

(isso mesmo, jogar um pouquinho de sal) para ver o que acontece. Viu? A chama fica amarela!!!! As lâmpadas de vapor de sódio, muito utilizadas em iluminação pública, funcionam com um princípio semelhante. Só que nelas promove-se uma descarga elétrica através do vapor de sódio. Daí vem a tonalidade amarela da iluminação. Desde há muito se sabe que os materiais podem emitir luz quando excitados com certas quantidades de energia. Nos fogos de artifício, que são um espetáculo visual em diferentes partes do mundo, isso também acontece. Utilizam-se sais de bário para obter luz verde, sais de estrôncio se queremos luz vermelha e, evidentemente, sódio, se queremos o amarelo.

Esse intermezzo pictórico foi para contar-lhes que Fraunhofer constatou que ao passarmos a luz emitida por esses materiais incandescentes através de um prisma, o resultado é um espectro discreto e não contínuo, como no caso do Sol, caracterizando individualmente esses materiais. É a tal da impressão digital a que nos referimos logo no início.

O detalhe aqui (olha ele novamente) é que esse espectro era formado por linhas brilhantes, cujas energias pareciam corresponder àquelas linhas negras presentes no espectro solar. De que forma ele percebeu isso? Comparando as posições das linhas negras do espectro solar com as posições das linhas do espectro individual dos diferentes elementos conhecidos. Era 1814 e muitas águas ainda iriam rolar... O interessante é que aqui começou a se esboçar uma explicação para as tais linhas escuras do espectro solar.

Como já sabíamos, desde Newton, o Sol emite luz em todas as cores. Essa luz passa por diferentes gases presentes na sua superfície, que absorvem a luz exatamente nas cores características da sua emissão [lembra-se que os diferentes ma-

teriais são capazes de emitir luz quando recebem certas quantidades de energia]. Portanto, as chamadas linhas escuras de Fraunhofer são linhas de absorção de luz. Elas correspondem aos espectros de absorção de elementos químicos presentes no Sol. É assim que se consegue, à distância, fazer uma análise química, não somente do Sol, mas de qualquer estrela.

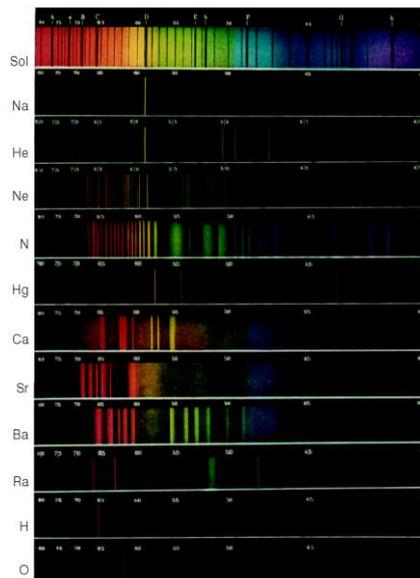


Fig. 4 – Espectro Contínuo de Emissão do Sol

Na figura acima você tem o espectro contínuo de emissão do Sol com as linhas negras de Fraunhofer, seguido de espectros de emissão de vários elementos obtidos em laboratório. Repare com cuidado e você perceberá a correspondência entre as linhas a que nos referimos.

A matéria e a energia são faces da mesma moeda. Albert Einstein (1879-1955) o demonstrou por meio de sua famosa equação $E = m.c^2$, onde E é energia, m massa do corpo e c é a velocidade da luz.

Mas existe uma *interação* entre *matéria* e *energia* sendo intimamente e surpreendentemente aceito e comprovado, que a *matéria* e a *radiação* *interagem* também entre si. Mas discutiremos isto um pouco mais à frente.

Da mesma forma que nos colocamos questões acerca da composição do Sol podemos fazê-lo com relação a outros objetos que nos cercam e que ao mesmo tempo estão presentes no nosso sistema solar

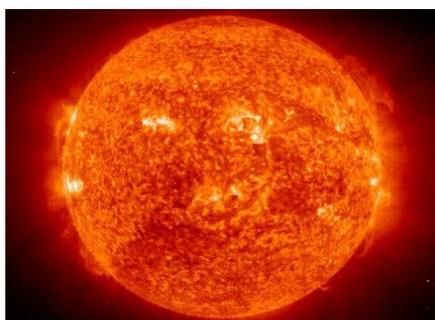


Fig. 5 – Fotografia do Sol

Os astros, assim como o Sol, e tantas outras estrelas, nebulosas, galáxias e planetas estão bem distantes de nós e, no entanto, sabemos a respeito de nosso sistema solar, por exemplo, da distância em que nos encontramos de determinada galáxia e também a quantidade de Sóis que existem com aproximação em nosso Universo.

Esses astros estão bastante distantes de nós e, como vimos, conseguimos até saber detalhes acerca da sua composição.

Como sabemos e temos tanta *informação* a respeito deste tema? Tudo isto são resultados da *interação radiação-matéria*.

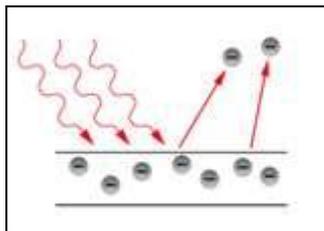


Fig. 6 - Detalhe esquemático da interação radiação-matéria, com ejeção de elétrons como fruto do efeito fotoelétrico.

Estas radiações estão por toda parte em nosso sistema solar e além dele, e, é exatamente este tipo de radiação que nos fornece as informações a respeito de nosso planeta, do nosso sistema solar e do Cosmos.

O elemento químico hélio, por exemplo, formado no Sol e nas estrelas pela fusão do hidrogênio, tendo sido o primeiro elemento a ser descoberto fora da Terra e por isso recebeu o nome grego *Helios* (Sol).

Descoberto por Sir William Ramsay (1852-1916) em Londres e por P.T. Cleve e N. A. Langlet na Suécia em 1895. Foi o primeiro elemento a ser descoberto fora da Terra, descoberto no Sol em 1868 pelo astrônomo Pierre Jules César Janssen (1824-1907) pela análise do espectro solar, na Índia durante um eclipse. Posteriormente sua existência foi confirmada na Terra em minerais de urânio e em poços de gás natural, de onde é obtido atualmente. É um gás incolor, não inflamável e mais leve que o ar. Suas aplicações são variadas dentre as quais vamos enumerar algumas: Usado na forma líquida em equipamentos de Ressonância magnética (MR) empregados em diagnósticos de imagem; Por ser mais leve que o ar e não inflamável atualmente é utilizado em dirigíveis, em balões, em substituição ao hidrogênio, além de outras aplicações. (Alves, N. P. 2008, p. 30).

Mas tudo isto, radiações, distâncias interplanetárias, intergalácticas, velocidades de galáxias, etc., por exemplo, são informações fornecidas por instrumentos ou equipamentos criados ou inventado pelo homem, graças à sua capacidade de interagir e questionar a natureza em que vive a respeito das coisas e daí retirar informações e também da antiga e surrada pergunta que não cala o ser humano: estamos sozinhos no Universo? Existem outras formas de vida fora de nosso planeta? Aí estão concentrados os estudos da *astrobiologia* que nos leva à questão da vida em outros mundos.

Este instrumento nos quais nos referimos pensará você, como ter tanta informação, temperatura da coroa solar, constituição do Sol, auroras boreal e austral, ventos solares, magnetismo nos pólos de nosso planeta protegendo-o contra estas mesmas radiações e as selecionando, manchas solares, etc.

O que causa tanta atividade no Sol e que nos atinge com suas radiações promovendo, por um lado, a existência da vida na Terra e esta, por outro lado, nos protegendo da própria radiação através de sua atmosfera?

São muitas *informações*, vindas através das *radiações* e estas interagindo com a matéria, provocando reações químicas, físicas, fisiológicas etc. em uma planta, por exemplo, nos dando a certeza de que a vida depende cada vez e em maior grau do próprio homem, não modificar o planeta como está sendo feito, não nos trará benefícios e maior duração do homem e da preservação da vida em nosso planeta.

3.2 De Espectros e Espectroscópios: Na Trilha da Ciência.

Não é comum dar ênfase ao papel que os instrumentos científicos desempenham no desenvolvimento da Ciência, seja no seu aspecto experimental, cuja importância é mais óbvia e direta, seja no seu aspecto teórico, que certamente reivindica um exame mais detalhado.



Fig. 7 – Gustav Roberto Kirchhoff (à esquerda) e Robert Wilhelm Bunsen (à direita)

Em nossa Trilha da Ciência, estudaremos as contribuições para a Espectroscopia de dois eminentes alemães, professores da Universidade de Heidelberg no início da segunda metade do Século XIX: Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) e Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899).

Eles uniram forças no desenvolvimento de um instrumento que se mostraria de grande importância no desenvolvimento da Ciência: o Espectroscópio, cujo desenho você encontrará mais adiante, conforme consta na publicação original (*Annalen der Physik und der Chemie*, v. 110, p. 161-189, 1860) desses dois gigantes da Ciência.

Ao leitor não especializado, porém interessado em Ciência, peço um pouco de paciência e compreensão, pois o que pretendo apresentar-lhes são alguns elementos de uma história fascinante, que foi essencial para o desenvolvimento do nosso conhecimento acerca da natureza íntima da matéria.

Foi somente em 1858 que G. R. Kirchhoff passou a se interessar por análise espectral, depois de haver se dedicado bastante ao estudo da elasticidade e da eletricidade. Se o estimado leitor não apagou permanentemente da lembrança a imensa quantidade de informações desconexas que provavelmente recebeu nas aulas de Física do seu Ensino Médio, lembrará da chamada "leis dos nós e das malhas" na análise de circuitos elétricos. Pois é, a "Lei de Kirchhoff"! Mas esse não é o nosso objetivo aqui.

A questão é que na origem do interesse de Kirchhoff na espectroscopia encontramos R. W. Bunsen, que estava investigando, na época, a possibilidade de analisar sais segundo as cores que estes emitiam ao serem queimados. Para esse objetivo ele havia aperfeiçoado, nos anos de 1850, um instrumento que ficou muito conhecido dos químicos, o chamado "Queimador de Bunsen", ou numa versão mais popular, "Bico de Bunsen". Neste instrumento, vaporiza-se algum material que é queimado em uma chama que acaba emitindo uma cor específica e característica do material vaporizado. Na figura abaixo você tem um exemplo do resultado da queima de três substâncias distintas.

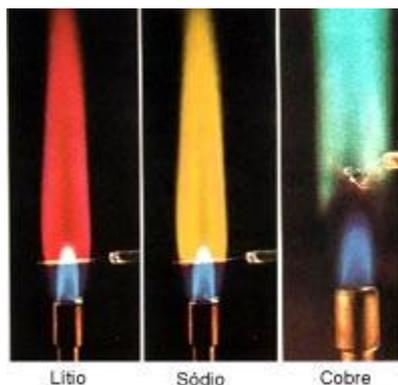


Fig. 8 – Fotografia de um Bico de Bunsen em operação na queima de três substâncias distintas

Bunsen fazia uso de um colorímetro para obter uma medida objetiva das características das cores emitidas. Em 1859, Kirchhoff chamou a atenção de Bunsen para um método de análise mais preciso do que o colorímetro. A ideia de Kirchhoff era analisar o espectro de emissão das substâncias queimadas.

A colaboração desses dois pesquisadores, Bunsen, com o seu queimador e a sua vasta experiência na manipulação de sais de grande pureza, e Kirchhoff, com a análise de espectros por meio do espectroscópio [uma versão preliminar que ele já havia desenvolvido], produziu resultados surpreendentes.

Sem pretender ser demasiado detalhista, convido o interessado leitor à leitura breve de alguns trechos extraídos de uma publicação científica desses dois pesquisadores, onde se pode de imediato identificar com clareza o ponto de partida da pesquisa e o objetivo a que ela se propunha :

Sabe-se que muitas substâncias introduzidas em uma chama tem a propriedade de produzir em seus espectros linhas brilhantes particulares: na existência dessas linhas pode-se fundar um método de análise qualitativa que amplia consideravelmente o domínio das investigações químicas e que permite resolver problemas até agora insuperáveis. Nos limitaremos nesta Memória a aplicar este método a investigação dos metais alcalinos e alcalinos terrosos, fazendo ressaltar seu valor com

uma série de exemplos. (Análise Química Fundada nas Observações do Espectro, 1862, p. 2)

É interessante observar ainda a preocupação dos dois em nos explicar, ao longo da referida Memória, o instrumento que haviam desenvolvido e utilizado em seu trabalho:

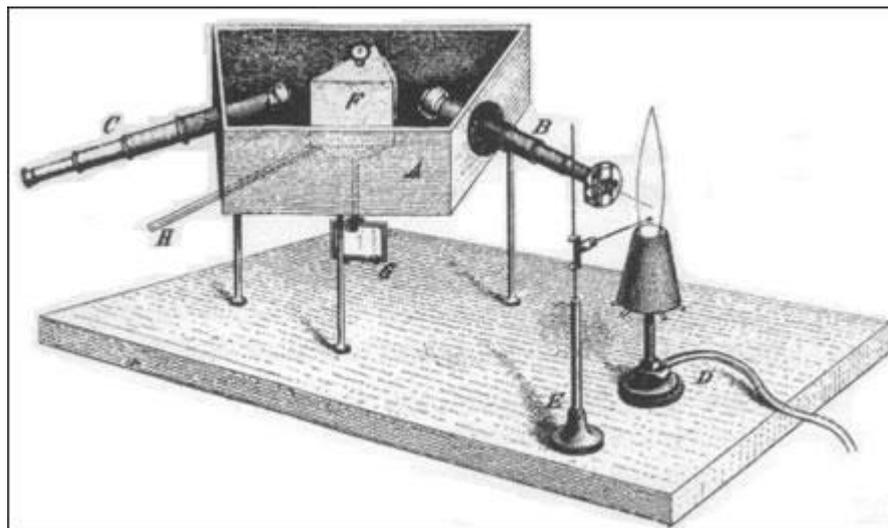


Fig. 9 – Montagem experimental do espectroscópio utilizado por Kirchhoff e Bunsen

O aparato que temos empregado para a observação do espectro é composto de uma caixa [A], enegrecida em seu interior, colocada sobre três pés, e cuja base é um trapézio. As duas paredes correspondentes aos lados oblíquos do trapézio formam um ângulo de 58 graus, e contém dois tubos pequenos [B,C]: a ocular do primeiro [B] está substituída por um disco de latão que tem uma fenda vertical, a qual se coloca no foco da objetiva. Diante desta fenda se coloca a lâmpada [D], de modo que o eixo do tubo passe pela borda da chama. Um pouco mais abaixo deste ponto de encontro se acha, preso por uma alça [E], um fio de platina muito fino e encurvado na forma de espiral, no qual se põe uma amostra de cloro, previamente desidratada e que se será examinada. Entre as objetivas de ambos os tubos tem um prisma de 60 graus [F], sustentado por um disco de latão móvel sobre o eixo vertical, o qual tem em sua parte inferior um espelho [G], e em cima dele uma vara [H], que serve para girar o prisma e o espelho. Diante desse último se acha colocado um tubo que serve para ler as divisões de uma escala horizontal colocada a curta distância. Circulando o prisma pode-se fazer passar todas as partes do espectro por detrás do retículo vertical do segundo tubo, e por conseguinte, fazer coincidir todas as linhas do mesmo com o retículo. A cada

posição do espectro corresponde uma divisão da escala; e se é pouco luminoso, se aclara o fio do tubo por meio de uma lente que projeta nele a luz de uma lâmpada por uma abertura lateral feita no tubo ocular do segundo tubo. (Análise Química Fundada nas Observações do Espectro, 1862).

Reconheço que a citação não foi assim tão breve, mas talvez tenha sido, de fato, necessária para que pudéssemos capturar esse espírito minucioso de investigação tão característico da prática científica.

Kirchhoff e Bunsen perceberam com clareza que uma das grandes aplicações do método espectral, talvez a maior naquela época, referia-se à possibilidade de descoberta de novos elementos químicos.

Temos a convicção de que este método, que amplia de um modo tão extraordinário os limites da análise química, poderá conduzir a descoberta de novos elementos não percebidos até agora pelos químicos, seja por acharem-se disseminados, seja por sua analogia com as substâncias conhecidas, seja devido a imperfeição dos nossos métodos de investigação, que não permitem encontrar entre eles reações características.

Em 1860, analisando o espectro de emissão produzido por uma gota de água mineral de Dürkheim [cidade alemã localizada na região de Colônia], eles descobriram um novo elemento. Vejamos como eles o anunciaram:

Propomos dar ao novo metal o nome de céσιο (símbolo Cs), de caesius, que entre os antigos servia para designar o azul da parte superior do firmamento, cujo nome nos parece se justifica pela facilidade com que se pode comprovar com a formosa cor azul dos vapores incandescentes deste novo corpo simples, a presença de alguns milésimos de miligramas deste elemento misturado com óxido de sódio, óxido de lítio e com óxido de estrôncio.

Ainda nessa mesma Memória eles descreveram o caminho que os havia conduzido ao descobrimento do Rubídio (Rb), "de rubidus, que entre os antigos servia para designar o vermelho mais intenso".

Nos anos seguintes outros elementos seriam identificados mediante a técnica da análise espectral: o Tálcio (Tl), em 1861, por William Crookes (1832-1919); o Índio (In), em 1863, por Reich e Richter; o Hélio, em 1869, por Norman Lockyer (1836-1920); o Gálio (Ga), em 1875, por Paul E. Lecoq de Boisbaudran (1838-1912); o Escândio (Sc), em 1879, por Lars F. Nilson (1840-1899); e o Germânio (Ge), em 1886, por Clemens A. Winkler (1838-1904).

No final do século XIX inúmeros pesquisadores notaram que a luz era capaz de ejetar elétrons de diversas superfícies metálicas. Esse fenômeno ficou conhecido mais tarde como *efeito fotoelétrico*.

Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947) fora assistente de Hertz e trabalhou durante um bom tempo com raios catódicos tendo, inclusive, recebido o prêmio Nobel de Física, em 1905, por esse trabalho. Em 1902, Lenard retomou o trabalho de Hertz, já falecido nesta época, e estudou como a energia dos fotoelétrons emitidos variava com a intensidade da luz.

Porém, a explicação para o fenômeno verificado experimentalmente por Lenard veio em 1905, quando Einstein deduziu que **a radiação eletromagnética também é quantizada. E que um quantum de radiação é chamado de fóton (γ)**.

Um fóton (γ) é uma partícula que possui energia e momento, mas não tem massa.

Einstein considerou que quando um fóton de frequência ν é absorvido pela matéria, ocorre uma variação dos níveis de energia do oscilador.

Pela conservação de energia, a energia do fóton é dada pela diferença dos níveis de energia ($E_{n+1} - E_n$) do oscilador:

$$E_{\text{fóton}} = (E_{n+1} - E_n) = (n + 1) h\nu - nh\nu = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

h é a constante de Planck

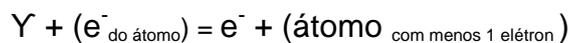
λ é o comprimento de onda da radiação incidente

c é a velocidade da luz

Einstein concluiu que a radiação eletromagnética é quantizada e que a energia de um *quantum* da radiação é dada por:

$$E_{\text{fóton}} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Com este raciocínio, Einstein explicou o processo pelo qual ocorre o efeito fotoelétrico:



No metal os elétrons mais externos (chamados de elétrons de valência) são livres para se moverem de um átomo para outro. Quando um elétron interage com um fóton, com energia suficientemente grande para arrancá-lo, ele sai do metal. O fóton cede toda a sua energia para o elétron. O elétron arrancado terá energia cinética máxima se ele pertencer ao nível de energia mais externo do átomo. Essa energia cinética máxima ($E_{\text{kmáx.}}$), que pode ser medida por:

$$E_{\text{kmáx.}} = h\nu - \phi$$

ϕ propriedade do metal, é chamada de função trabalho (dá a quantidade de energia pela qual um elétron mais externo está ligado ao átomo do metal, assim os elétrons mais interno do átomo tem energia de ligação maior).

Fenômeno que se manifesta pela liberação de elétrons quando determinadas substâncias são submetidas à radiação eletromagnética. Este efeito é compatível com a Mecânica Quântica e com fótons que são os quanta da radiação eletromagnética. Se a energia de um fóton for superior a um certo valor, a função trabalho ϕ , então é possível que um elétron seja liberado.

O maior valor da energia cinética E que um elétron liberado pode atingir é dado pela equação $E = h.\nu - \phi$, onde h é a constante de Planck e ν é a frequência do fóton (radiação eletromagnética) o produto corresponde a sua energia. Esta equação foi

proposta por Einstein (1879-1955) que recebeu o prêmio Nobel de Física por seus estudos sobre o efeito fotoelétrico somente em 1921.

Desta forma, podemos admitir que:

- a) O efeito fotoelétrico é um fenômeno quântico.
- b) Um único fóton é absorvido por um único elétron.
- c) Para radiação incidente com frequência maior do que a *frequência de corte* (frequência mínima do fóton incidente necessária para arrancar um elétron da última camada do átomo do material que compõe o alvo onde a radiação está incidindo), aumentando-se a intensidade, aumenta-se a taxa de emissão dos elétrons, porém não afeta a energia cinética dos elétrons emitidos, explicando assim o que ocorria no experimento de Lenard.
- d) A relação de Einstein dada pela expressão ($E_{\text{kmáx.}} = h\nu - \phi$) foi verificada experimentalmente em 1916 por Robert Milikan (1868-1953) que determinou a carga do elétron e que considerava a teoria de Einstein um ataque à teoria ondulatória da luz, durante 10 anos trabalhou nesta direção e confirmou a teoria de Einstein ganhando o prêmio Nobel de 1923 por seus trabalhos. E também provou que: “A constante h que relaciona a frequência e a energia do fóton era a mesma constante que aparecia na fórmula da radiação.”

Considerações Finais

Ao longo deste trabalho, buscamos fazer uma reflexão sobre a temática da inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio (FMCEM), motivados pela ideia de que não basta a simples justaposição de novos conteúdos, mas uma revisão curricular que nos permita a construção dinâmica, integrada e integradora das diferentes temáticas abordadas.

A perspectiva teórico-metodológica inspirada na Pedagogia Dialógica e Libertadora de Paulo Freire e na Epistemologia Histórico-Crítica de Gaston Bachelard possibilitou-nos a identificação de elementos fundacionais para a construção de uma proposição didática na forma de “Lições de Física”.

Na introdução deste trabalho, já se coloca a necessidade de implementar a FMCEM, visto que esta temática se impõe como necessidade formativa na educação científica no nível básico. Certamente, teremos muitos obstáculos a superar, mas, isso é um desafio para todos nós. Por outro lado, é necessário que se ajustem os currículos escolares aos novos tempos que se impõem. Mudanças de metodologias são necessárias para que possamos ter um ensino à altura de nosso tempo, com qualidade e atualização. Como sintoma da falta de clareza quanto aos objetivos da inserção da FMCEM, pode-se indicar o conflito entre dar um tratamento mais formativo ou mais informativo aos tópicos e temas da Física Moderna e Contemporânea.

As “Lições de Física” não são uma solução única para esses obstáculos e rupturas, mas, pode ser mais um caminho que poderemos trilhar na busca de alternativas para nosso tão combatido ensino em nossas escolas.

Quando iniciei este trabalho, comecei a notar quanto os currículos das universidades teriam que ser renovados também, além do que a nossa formação como docentes nos deixa a uma distância muito grande da realidade objetiva das escolas e do mundo físico em que estamos inseridos. Dessa forma, a atualização e formação de professores é uma necessidade emergencial para que possamos dar um salto de qualidade rumo ao futuro que tanto almejamos, junto com o conhecimento e pesquisa em nosso país.

A trajetória é longa como vimos, mas é possível, pois outros países o fizeram, nós temos a possibilidade e devemos fazê-lo. Existe uma vontade e uma perspectiva de vitória, apesar da luta ser árdua. Nossos alunos estão a nos esperar.

Referências Bibliográficas

ALVARENGA, B. e MÁXIMO A. **Curso de Física**. 4.ed. 3v. São Paulo, Scipione, 1394p. 1997.

ALMEIDA, M. J. P.M.; MOZENA. E.R. **Luz e Outras formas de Radiação Eletromagnética: Leituras na 8ª. Série do Ensino Fundamental**, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol.22, n.º 3, setembro, 2000.

ALVES, N. P. **GUIA dos Elementos Químicos**. 1. ed. São Paulo, Quimlab Produtos de Química Fina, 2008.

AMALDI, U. **Imagens da Física**. São Paulo, Scipione, 536p. 1995.

ANDRADE B. L. **As Analogias e Metáforas no Ensino de Ciências à luz da Epistemologia de Gaston Bachelard**, Pesquisa em Educação em Ciências, vol. 02/ núm. 02 – dezembro 2002.

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

BARTHEM, R. **A Luz**. São Paulo, Editora Livraria da Física, 1v. 114p. 2005.

BRASIL. **Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias/Secretaria de Educação Básica**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2008. 135 p.(Orientações curriculares para o ensino médio; vol. 2)

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros curriculares Nacionais para o Ensino Médio**.

Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de educação Média e Tecnológica, 2002.

CANATO JR., O. **Texto e Contexto Para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea na Escola Média**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Instituto de Química e Faculdade de Educação – USP, 2003. Diss. maestr.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. **FÍSICA MODERNA EXPERIMENTAL**. Barueri – S. P. Editora Manole LTDA, 1v. 132p. 2007.

CHESMAN, C.; ANDRÉ, C.; MACÊDO A. **Física Moderna: Experimental e Aplicada**. São Paulo. Editora Livraria da Física, 1v. 291p. 2004.

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

DELIZOICOV, D. ANGOTTI, J. A. **Física**, São Paulo, Cortez, 2002.

DORIA, M. M. e MARINHO, F. C. **Ondas e Bits**. São Paulo. Editora Livraria da Física, 1v. 127p. 2006.

ExperimentumBlog – Espectroscopia: a Essencial Contribuição de Gustav R. Kirchhoff(1824 – 1887) e Robert W. Bunsen (1811 – 1899). Disponível em <http://www.experimentum.org/blog/?p=544>. Acesso em 2/7/2010.

FEYNMAN, R. P. **Dicas de física de Feynman: suplemento para a resolução de problemas do Lectures on Physics** (p.17,18) / Richard P. Feynman, Michael A. Gottlieb, Ralph Leighton; tradução José Eduardo Padilha de Souza. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FREIRE Jr, O. e CARVALHO NETO, R. A. **O Universo dos Quanta: Uma breve história da Física Moderna**. São Paulo, Editora FTD, 1v. 95p. 1997.

FREIRE, P. **extensão ou comunicação?** Editora Paz e Terra, São Paulo , 2006.

..... **Pedagogia da Autonomia**, Ed. Paz e Terra, São Paulo, 2005.

GIL, G. **“Pela Internet”**. In Quanta. Warner, 1998.

GILLISPIE, C. C (Org.), **Dicionário de Biografias Científicas**. trad. Carlos Almeida Pereira . . .[et al.]. Rio de Janeiro. Contraponto, 2007.

GRAF (**Grupo de Reelaboração do Ensino de Física**). Física 1: Mecânica, Física 2: Térmica e Óptica e Física 3: Eletromagnetismo. São Paulo: Edusp, 1993.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. Porto Alegre, editora Bookman, 2002.

HOBBSAWM, E. **Era dos Extremos: o breve século XX: 1914-1991**. São Paulo, Companhia das Letras, 598p. 2000.

HOUAISS, A. VILLAR, M. S. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Instituto Antônio Houaiss de Lexicografia e Banco de Dados da Língua Portuguesa S/C Ltda. Rio de Janeiro, Objetiva, 2001.

LARANJEIRAS, C.C. **Jornal da Ciência**, publicação da SBPC, edição nº. 3980, 31/03/2010.

LARANJEIRAS, C. C. **Lições de Física – Investigando os movimentos**. IF – UnB , Brasília, 1996.

MARTINS, A. F. P. (org.) **FÍSICA ainda é cultura?** Cap. 1 e 9. São Paulo, ed. Livraria da Física. **2009**.

MORAIS, A. M. A. **Gravitação & Cosmologia: uma introdução**. São Paulo, ed. Livraria da Física. 1v. 169p. 2009.

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

OLIVEIRA, I. S. **FÍSICA MODERNA – para iniciados, interessados e aficionados**. São Paulo. Editora Livraria da Física, 2v. 455p. 2005.

OSTERMANN, Fernanda & PUREUR, P. **Supercondutividade**. São Paulo. ed. Livraria da Física: Sociedade Brasileira de Física. 2005.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”**. Porto Alegre: *Investigações em Ensino de Ciências* do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 5, n. 1 mar. 2000. Disponível em http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5_n1_a2.htm. Acesso em: 13 jan. 2010.

OSTERMANN, F. CAVALCANTI, C. J. H. **Revista Física na Escola**, 2, 1. ed. SBF, 2001.

PENA, F. L. A. **Por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e idéias de física moderna e contemporânea na sala de aula?** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.28, n. 1, p. 1-2 (2006).

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. **Sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: Uma Revisão da Produção Acadêmica Recente**. Porto Alegre: *Investigações em Ensino de Ciências* do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do sul, v14(3), PP.393-420, 2009.

PEREIRA, M. M. **Do empírico ao Teórico: Um plano de aula para o Ensino do Princípio de Arquimedes no Ensino Médio**. IF- UFRJ, Rio de Janeiro.

PIMENTA, M. A. **A Luz do século 20**. Rio de Janeiro, *Ciência Hoje (SBPC)*.vol.45, abril 2010.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. **É Possível Levar a Física Quântica Para o Ensino Médio?** v 16, 1. p. 7, Florianópolis, ed. UFSC, 1999.

PIETROCOLA, M.(org.) **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: ed. UFSC. 2001.

RICARDO, E. C.; ZYLBERSZTAJN, A. **Os Parâmetros Curriculares Nacionais para as Ciências do Ensino Médio: Uma análise a partir da Visão de seus elaboradores**. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre – Instituto de Física da UFRGS, v.13, n. 3, p. 257- 274, 2008.

RIDPATH, I. **Guia Ilustrado Zahar – Astronomia**, Rio de janeiro, ed. Zahar, 2007.

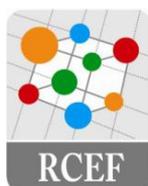
RODITI, I. **Dicionário Houaiss de física**. Rio de Janeiro. Objetiva, 2005.

SMSG (School Mathematics Study Group). **Matemática (curso colegial)**. Vol. III, São Paulo: Edart, 1966.

TERRAZZAN, E. A. **Perspectivas para a inserção da Física moderna na escola média**. 1994. 241f. Tese (Doutorado em Educação). Instituto de Física e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

VALADARES, E. C.; CHAVES, A.; ALVES, G. A. **Aplicações da Física Quântica: do Transistor à nanotecnologia**. São Paulo, Editora Livraria da Física, 1v. 90p. 2005.

Apêndice A: Lição de Física 01 - Planejamento/Orientação ao Professor



Rede Colaborativa
de Ensino de Física
Instituto de Física
Universidade de Brasília



IDENTIFICAÇÃO			
Autores	Título	Instituição	UF
Cleovam da Silva Porto	Espectroscopia: Investigando a Estrutura Íntima da Matéria	IFD/PPGEC/UnB	DF
NÍVEL EDUCAÇÃO BÁSICA			
<input type="checkbox"/> Educação Infantil	<input type="checkbox"/> Ensino Fundamental	<input checked="" type="checkbox"/> Ensino Médio	
MODALIDADE DE ENSINO			
<input checked="" type="checkbox"/> Presencial <input type="checkbox"/> Distância <input checked="" type="checkbox"/> Misto			
SÉRIE E/OU CONTEXTOS INDICADOS			
<input type="checkbox"/> 1ª Série <input type="checkbox"/> 2ª Série <input checked="" type="checkbox"/> 3ª Série <input checked="" type="checkbox"/> EJA <input type="checkbox"/> Ampliação da jornada escolar <input type="checkbox"/> Avaliação Institucional <input checked="" type="checkbox"/> Formação continuada de professor <input type="checkbox"/> Gestão Educacional			
TECNOLOGIA EDUCACIONAL			
- Postagens em Blogs			

- Plataforma MOODLE

- Internet

1. OBJETIVOS

Compreender a constituição e organização da matéria e suas especificidades, relacionando-as aos modelos que a Ciência hoje propõe para um mundo Tomando a Espectroscopia como instrumento de investigação.

2. ORIENTAÇÕES AO PROFESSOR

Esta Lição está organizada em uma estrutura constituída de três **Momentos Pedagógicos** distintos, que traduzem **compromissos e intencionalidades pedagógicas** que você deve considerar e valorizar em seu trabalho de sala de aula. São eles:

- i. Contextualização Inicial
- ii. Construção do Conhecimento
- iii. Síntese e Aplicação do Conhecimento

A **Contextualização Inicial** é o momento em que se busca o sentido do conhecimento, momento em que são levantadas questões, cujas respostas constituirão o conhecimento apreendido. Aqui o importante é situar o aluno em uma postura de questionamento. Lembre-se das palavras de Gaston Bachelard, para quem “*Todo conhecimento é resposta a uma questão*”.

Na **Construção do Conhecimento**, o conhecimento científico é mobilizado na estrutura cognitiva do sujeito aprendiz visando ao equacionamento e à solução de problemas surgidos na fase Contextualização Inicial.

Na **Síntese e Aplicação do Conhecimento**, a dimensão operacional do conhecimento se explicita, abrindo espaço também para o surgimento de novos questionamentos

3. ATIVIDADE

4. LEITURA COMPLEMENTAR
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Apêndice B: Lição de Física 02 - Planejamento/Orientação ao Professor



Rede Colaborativa
de Ensino de Física
Instituto de Física
Universidade de Brasília



IDENTIFICAÇÃO			
Autores	Título	Instituição	UF
Cleovam da Silva Porto	De Espectros e Espectroscópios: Na Trilha da Informação	IFD/PPGEC/UnB	DF
NÍVEL EDUCAÇÃO BÁSICA			
<input type="checkbox"/> Educação Infantil	<input type="checkbox"/> Ensino Fundamental	<input checked="" type="checkbox"/> Ensino Médio	
MODALIDADE DE ENSINO			
<input checked="" type="checkbox"/> Presencial <input type="checkbox"/> Distância <input checked="" type="checkbox"/> Misto			
SÉRIE E/OU CONTEXTOS INDICADOS			
<input type="checkbox"/> 1ª Série <input type="checkbox"/> 2ª Série <input checked="" type="checkbox"/> 3ª Série <input checked="" type="checkbox"/> EJA <input type="checkbox"/> Ampliação da jornada escolar <input type="checkbox"/> Avaliação Institucional <input checked="" type="checkbox"/> Formação continuada de professor <input type="checkbox"/> Gestão Educacional			
TECNOLOGIA EDUCACIONAL			

1. OBJETIVOS

- Proporcionar ao aluno uma compreensão acerca da estrutura da matéria por meio de investigações de caráter espectral.
- Construir um espectroscópio simples para observação do espectro de vários comprimentos de onda.

2. ORIENTAÇÕES AO PROFESSOR

Esta Lição está organizada em uma estrutura constituída de três **Momentos Pedagógicos** distintos, que traduzem **compromissos e intencionalidades pedagógicas** que você deve considerar e valorizar em seu trabalho de sala de aula. São eles:

- iv. Contextualização Inicial
- v. Construção do Conhecimento
- vi. Síntese e Aplicação do Conhecimento

A **Contextualização Inicial** é o momento em que se busca o sentido do conhecimento, momento em que são levantadas questões, cujas respostas constituirão o conhecimento apreendido. Aqui o importante é situar o aluno em uma postura de questionamento. Lembre-se das palavras de Gaston Bachelard, para quem “*Todo conhecimento é resposta a uma questão*”.

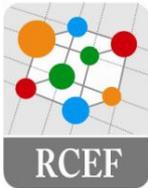
Na **Construção do Conhecimento**, o conhecimento científico é mobilizado na estrutura cognitiva do sujeito aprendiz visando ao equacionamento e à solução de problemas surgidos na fase Contextualização Inicial.

Na **Síntese e Aplicação do Conhecimento**, a dimensão operacional do conhecimento se explicita, abrindo espaço também para o surgimento de novos questionamentos

3. ATIVIDADE

4. LEITURA COMPLEMENTAR
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Apêndice C: Lição 01 – Espectroscopia: Investigando a Estrutura Íntima da Matéria.



Rede Colaborativa
de Ensino de Física
Instituto de Física
Universidade de Brasília



Ao leitor não especializado pode parecer surpreendente, e até muitas vezes estranha e vertiginosa, a quantidade de informações e conhecimentos reunidos pela **Ciência** acerca do nosso mundo.

Não que essa sensação não atinja os cientistas que, por conhecerem muitos detalhes desse processo, não raro se surpreendem até mais do que o leigo.



Do que é feito o **Sol**?

E as tantas **Outras** estrelas (isso mesmo, o Sol é uma estrela) que uma noite de céu limpo é capaz de nos brindar de maneira sempre tão intrigante?



Se pararmos para pensar a coisa vai longe...

O fato é que esses astros estão tão distantes de nós e assim mesmo conseguimos saber em detalhes a sua composição?

Ciência meu amigo, ***Ciência!***

Respostas para essas, aparentemente misteriosas, questões são algumas das conquistas da **Espectroscopia**. Mas a coisa não para por aí. Novos elementos químicos foram descobertos a partir dela.



Na indústria e até mesmo em laboratórios de análise clínica ela tem sido importante.



Mas, afinal de contas, você já deve estar se perguntando, *o que é Espectroscopia?*

Em linhas gerais, pode-se dizer que *a Espectroscopia é todo e qualquer processo de investigação das propriedades da matéria por meio da sua interação com a radiação.*

Sempre que fazemos radiação interagir com a matéria, esta pode tanto absorver, emitir, quanto espalhar radiação em uma dada frequência, dando-nos informações valiosas sobre a sua estrutura físico-química. O mapeamento gráfico dessas informações constitui aquilo que os pesquisadores chamam de *Espectro* da amostra analisada. *É uma espécie de impressão digital do material analisado.*

Mas retomemos com um pouco mais de detalhe o delineamento de toda essa história. Afinal, a *História* nos permite conhecer de maneira dinâmica todo o processo de desenvolvimento do conhecimento.



Foi com Isaac Newton (1643-

1727), ainda no século XVII, que começamos a nos dar conta desse processo. Ele nos descreveu adequadamente o fenômeno da decomposição da luz do Sol por um prisma, desvendando o variado e belo espectro de cores [aquelas que os antigos conheciam tão bem por meio do fenômeno do arco-íris], que se escondiam na luz branca. Como se

não bastasse, ele ainda nos mostrou, utilizando um segundo prisma, como reconstituí-la em sua versão original.



Fig 2 - Reprodução de Ilustração de montagem utilizada por Newton em seus estudos de decomposição da luz através de prismas. Fonte: Opticks, 1952, Dover Publications, INC, New York.

Mas isso era só o início, digamos que a parte visível de todo o processo. Hoje sabemos muito bem que o *espectro solar* é também composto por radiações invisíveis ao olho humano, situadas nas regiões abaixo do vermelho (*infravermelho*) e acima do violeta (*ultravioleta*).

Para essa conclusão contribuíram pesquisadores que, embora menos conhecidos do público geral, não foram menos importantes para a Ciência. O químico e farmacêutico de origem sueca Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), o físico alemão Johann Wilhelm Ritter (1776-1810), o químico britânico William Hyde Wollaston (1776-1828) e o astrônomo inglês William James Herschel (1738-1822) foram alguns dos personagens desse trabalho.

Mas há um detalhe aqui de grande relevância.

Ao longo da sua pesquisa, o químico britânico William Hyde Wollaston, acima referido, fez uma descoberta-chave que desencadeou importantes desdobramentos.

Inspirado na experiência de Newton, mas diferente dele, trabalhando com uma fenda muito estreita (da ordem de 0,01mm), Wollaston per-

cebeu que o espectro solar apresentava linhas negras sobrepostas às cores brilhantes.

O alemão **Joseph von Fraunhofer** (1787-1826), habilidoso construtor de instrumentos óticos, utilizando prismas e redes de difração, constatou que essas linhas negras chegavam as centenas.



Na figura acima você pode identificar Fraunhofer (bem ao centro, de branco) fazendo uma apresentação do seu espectrômetro.

O espectro de von Fraunhofer, representado na figura abaixo, nos dá uma boa ideia desse processo.



Fig. 3 – Espectro de Fraunhofer.

Hoje sabemos que as *Linhas de Fraunhofer* (foi assim que essas linhas negras do espectro solar ficaram conhecidas) chegam aos milhares, estendendo-se nas regiões invisíveis do espectro.

Neste momento, você pode estar se perguntando: **qual a importância disso?**

Afinal de contas, isso tudo parece ser um mero detalhe. *Detalhes!* Parece que são neles que, quase sempre, encontramos as melhores coisas.

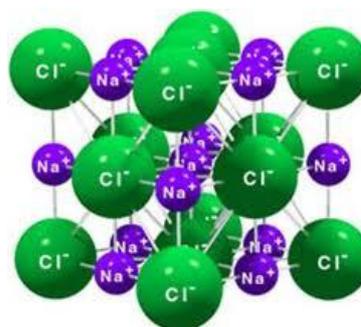


*Detalhes tão pequenos de nós dois
são coisas muito grandes pra esquecer
e a toda hora vão estar presentes
você vai ver... (Roberto Carlos)*



Está duvidando?

Então vejamos....



Você já passou pela experiência de deixar cair um pouco de sal de cozinha (cloreto de sódio) na chama do seu fogão?

Isso geralmente ocorre com aqueles cozinheiros apressados (como eu) que, de repente, se dão conta de que haviam esquecido de pôr o sal no momento certo do cozimento do alimento...

Se ainda não teve essa experiência, por favor, vá até o seu fogão, acenda a chama e salpique-a (isso mesmo, jogar um pouquinho de sal) para ver o que acontece.



Então, o que percebeu?

Não perca essa chance...Pare um pouco, reúna-se com alguns dos seus colegas e discuta o *fenômeno*...

Viu? A chama fica amarela!!!!

As *lâmpadas de vapor de sódio*, muito utilizadas em iluminação pública, funcionam com um princípio semelhante. Só que nelas promove-se uma descarga elétrica através do vapor de sódio. Daí vem a tonalidade amarela da iluminação.

Desde há muito se sabe que *OS materiais podem emitir luz quando excitados com cer-*



tas quantidades de energia. Nos fogos de artifício, que são um espetáculo visual em diferentes partes do mundo, isso também acontece. Utilizam-se sais de bário para obter luz verde, sais de estrôncio se queremos luz vermelha e, evidentemente, sódio, se queremos o amarelo.

Esse *intermezzo pictórico* foi para contar-lhes que Fraunhofer constatou que ao passarmos a luz emitida por esses materiais incandescentes através de um prisma, o resultado é um **espectro discreto** e não contínuo, como no caso do Sol, caracterizando individualmente esses materiais. É a tal da impressão digital a que nos referimos logo no início.

O *detalhe* aqui (olha ele novamente) é que esse espectro era formado por linhas brilhantes, cujas energias pareciam corresponder àquelas linhas negras presentes no espectro solar.

De que forma ele percebeu isso? Comparando as posições das linhas negras do espectro solar com as posições das linhas do espectro individual dos diferentes elementos conhecidos.

Era 1814 e muitas águas ainda iriam rolar... O interessante é que aqui começou a se esboçar uma explicação para as tais *linhas escuras do espectro solar*.

Como já sabíamos, desde Newton, o Sol emite luz em todas as cores. Essa luz passa por diferentes gases presentes na sua superfície, que absorvem a luz exatamente nas cores características da sua emissão [lembre-se que os diferentes materiais são capazes de emitir luz quando recebem certas quantidades de energia].

Portanto, as chamadas *Linhas Escuras de Fraunhofer* são linhas de absorção de luz. Elas correspondem aos espectros de absorção de elementos químicos presentes no Sol.

É assim que se consegue, à distância, fazer uma análise química, não somente do Sol, mas de qualquer estrela.

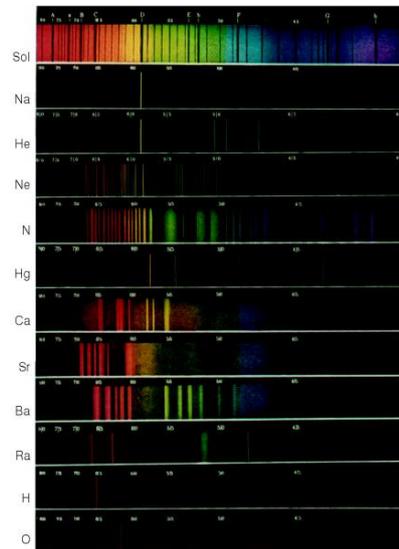


Fig. 4 – Espectro Contínuo de Emissão do Sol

Na figura acima você tem o *espectro contínuo de emissão do Sol* com as linhas escuras de Fraunhofer, seguido de *espectros de emissão de vários elementos obtidos em laboratório*. Repare com cuidado e você perceberá a correspondência entre as linhas a que nos referimos.

Apêndice D: Lição 02 – De Espectros e Espectroscópios: Na Trilha da Informação.



Rede Colaborativa
de Ensino de Física
Instituto de Física
Universidade de Brasília



Olá, Seja bem vindo!

Aqui estamos, mais uma vez, em nossa busca de *compreensão e entendimento da Ciência*.

Se você acompanhou a “*Lição 1: Espectroscopia: Investigando a Estrutura Íntima da Matéria*” já conhece um pouco deste assunto.

Desta vez, seguiremos uma trilha diferente...

Mas não se preocupe, ela nos levará com segurança ao nosso objetivo.

O importante mesmo é você se deixar impregnar pelo espírito de *Curiosidade* e de *Investigação*. E não se esqueça nunca de que:

“Para um espírito científico, todo conhecimento é resposta a uma questão”.

- Gaston Bachelard -

Não é comum dar ênfase ao papel que os *instrumentos científicos* desempenham no *desenvolvimento da Ciência*, seja no seu aspecto experimental, cuja importância é mais óbvia e direta, seja no seu aspecto teórico, que certamente reivindica um exame mais detalhado.

Em nossa *Trilha da Ciência*, estudaremos as contribuições para a Espectroscopia de dois eminentes alemães, professores da Universidade de Heidelberg no início da segunda metade



do Século XIX: *Gustav Robert Kirchhoff* (1824-1887) e *Robert Wilhelm Bunsen* (1811-1899).

Eles uniram forças no desenvolvimento de um instrumento que se mostraria de grande importância no desenvolvimento da Ciência:

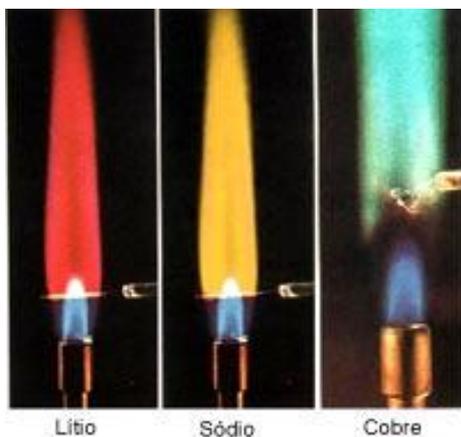
o *Espectroscópio*, cujo desenho você encontrará mais adiante, conforme consta na publicação original (Annalen der Physik und der Chemie, v. 110, p. 161-189, 1860) desses dois gigantes da Ciência.

Ao leitor não especializado, porém interessado em Ciência, faz-se necessário um pouco mais de paciência e compreensão, pois o que pretendemos apresentar-lhes são alguns elementos de uma história fascinante, que foi essencial para o desenvolvimento do nosso conhecimento acerca da *natureza íntima da matéria*.

Foi somente em 1858 que G. R. Kirchhoff passou a se interessar por *análise espectral*, depois de haver se dedicado bastante ao estudo da elasticidade e da eletricidade. Se o estimado leitor não apagou permanentemente da lembrança a imensa quantidade de informações desconexas que provavelmente recebeu nas aulas de Física do seu Ensino Médio, lembrará da chamada "leis dos nós e das malhas" na análise de circuitos elétricos. Pois é, a "Lei de Kirchhoff"!

Mas esse não é o nosso objetivo aqui.

A questão é que na origem do interesse de Kirchhoff na espectroscopia encontramos R. W. Bunsen, que estava investigando, na época, a



possibilidade de analisar sais segundo as cores que estes emitiam ao serem queimados.

Para esse objetivo ele havia aperfeiçoado, nos anos de 1850, um instrumento que ficou muito conhecido dos químicos, o chamado "*Queimador de*

Bunsen", ou numa versão mais popular, "*Bico de Bunsen*".

Neste instrumento, vaporiza-se algum material que é queimado em uma chama que acaba emitindo uma cor específica e característica do material vaporizado. Na figura acima você tem um exemplo do resultado da queima de três substâncias distintas; Lítio, Sódio e Cobre.

Observe a diferença de cores; Se você teve a oportunidade de acompanhar a Lição 1: "*Espectroscopia: Investigando a Estrutura Íntima da Matéria*" já sabe bem a explicação dessa diferença.

Bunsen fazia uso de um colorímetro para obter uma medida objetiva das características das cores emitidas. Em 1859, Kirchhoff chamou a atenção de Bunsen para um método de análise mais preciso do

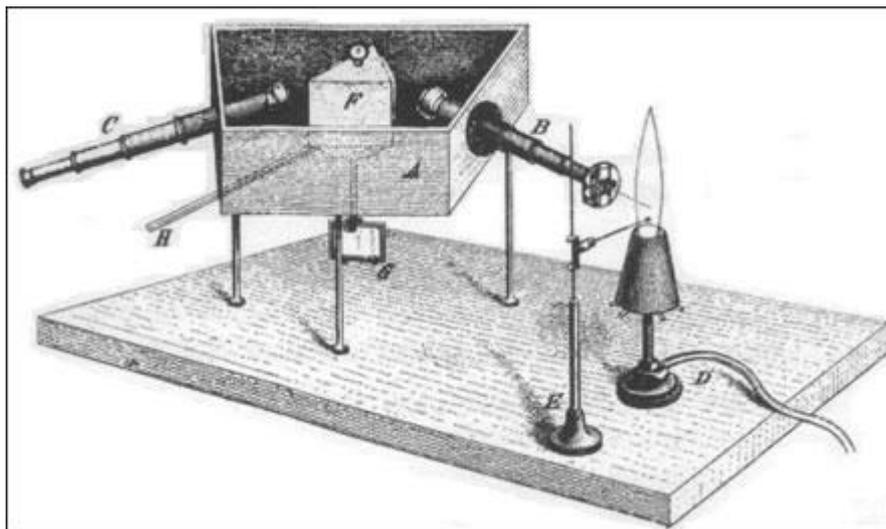
que o colorímetro. A ideia de Kirchhoff era analisar o *espectro de emissão* das substâncias queimadas.

A colaboração desses dois pesquisadores, Bunsen, com o seu queimador e a sua vasta experiência na manipulação de sais de grande pureza, e Kirchhoff, com a análise de espectros por meio do espectroscópio [uma versão preliminar que ele já havia desenvolvido], produziu resultados surpreendentes.

Sem pretender ser demasiado detalhista, convido você à leitura breve de alguns trechos extraídos de uma publicação científica desses dois pesquisadores, onde se pode de imediato identificar com clareza o ponto de partida da pesquisa e o objetivo a que ela se propunha :

Sabe-se que muitas substâncias introduzidas em uma chama tem a propriedade de produzir em seus espectros linhas brilhantes particulares: na existência dessas linhas pode-se fundar um método de análise qualitativa que amplia consideravelmente o domínio das investigações químicas e que permite resolver problemas até agora insuperáveis. Nos limitaremos, nesta Memória, a aplicar este método a investigação dos metais alcalinos e alcalinos terrosos, fazendo ressaltar seu valor com uma série de exemplos. (Análise Química Fundada nas Observações do Espectro, 1862, p. 2)

É interessante observar ainda a preocupação dos dois em nos explicar, ao longo da referida Memória, o instrumento que haviam desenvolvido [veja a reprodução do original na figura abaixo] e utilizado em seu trabalho:



O aparato que temos empregado para a observação do espectro é composto de uma caixa [A], enegrecida em seu interior, colocada sobre três pés, e cuja base é um trapézio. As duas paredes correspondentes aos lados oblíquos do trapézio formam um ângulo de 58 graus, e contém dois tubos pequenos [B,C]: a ocular do primeiro [B] está substituída por um disco de latão que tem uma fenda vertical, a qual se coloca no foco da objetiva. Diante desta fenda se coloca a lâmpada [D], de modo que o eixo do tubo passe pela borda da chama. Um pouco mais abaixo deste ponto de encontro se acha, preso por uma alça [E], um fio de platina muito fino e encurvado na forma de espiral, no qual se põe uma amostra de cloro, previamente desidratada e que se será examinada. Entre as objetivas de ambos os tubos tem um prisma de 60 graus [F], sustentado por um disco de latão móvel sobre o eixo vertical, o qual tem em sua parte inferior um espelho [G], e em cima dele uma vara [H], que serve para girar o prisma e o espelho. Diante desse último se acha colocado um tubo que serve para ler as divisões de uma escala horizontal colocada a curta

distância. Circulando o prisma pode-se fazer passar todas as partes do espectro por detrás do retículo vertical do segundo tubo, e, por conseguinte, fazer coincidir todas as linhas do mesmo com o retículo. A cada posição do espectro corresponde uma divisão da escala; e se é pouco luminoso, se aclara o fio do tubo por meio de uma lente que projeta nele a luz de uma lâmpada por uma abertura lateral feita no tubo ocular do segundo tubo. (Análise Química Fundada nas Observações do Espectro, 1862).

Reconheço que a citação não foi assim tão breve, mas talvez tenha sido de fato, necessária para que pudéssemos capturar esse espírito minucioso de investigação tão característico da prática científica.

Kirchhoff e Bunsen perceberam com clareza que uma das grandes aplicações do *método espectral*, talvez a maior naquela época, referia-se à possibilidade de descoberta de novos elementos químicos.

Temos a convicção de que este método, que amplia de um modo tão extraordinário os limites da análise química, poderá conduzir a descoberta de novos elementos não percebidos até agora pelos químicos, seja por acharem-se disseminados, seja por sua analogia com as substâncias conhecidas, seja devido a imperfeição dos nossos métodos de investigação, que não permitem encontrar entre eles reações características.

Em 1860, analisando o espectro de emissão produzido por uma gota de água mineral de Dürkheim [cidade alemã localizada na região de Colônia], eles descobriram um novo elemento. Vejamos como eles o anunciaram:

Propomos dar ao novo metal o nome de céσιο (símbolo Cs), de caesius, que entre os antigos servia para

designar o azul da parte superior do firmamento, cujo nome nos parece se justifica pela facilidade com que se pode comprovar com a formosa cor azul dos vapores incandescentes deste novo corpo simples, a presença de alguns milésimos de miligramas deste elemento misturado com óxido de sódio, óxido de lítio e com óxido de estrôncio.)

Ainda nessa mesma Memória eles descreveram o caminho que os havia conduzido ao descobrimento do **Rubídio (Rb)**, "de rubidus, que entre os antigos servia para designar o vermelho mais intenso".

Nos anos seguintes outros elementos seriam identificados mediante a técnica da análise espectral: o **Tálio (Tl)**, em 1861, por William Crookes (1832-1919); o **Índio (In)**, em 1863, por Reich e Richter; o **Hélio (He)**, em 1869, por Norman Lockyer (1836-1920); o **Gálio (Ga)**, em 1875, por Paul E. Lecoq de Boisbaudran (1838-1912); o **Escândio (Sc)**, em 1879, por Lars F. Nilson (1840-1899); e o **Germânio (Ge)**, em 1886, por Clemens A. Winkler (1838-1904).

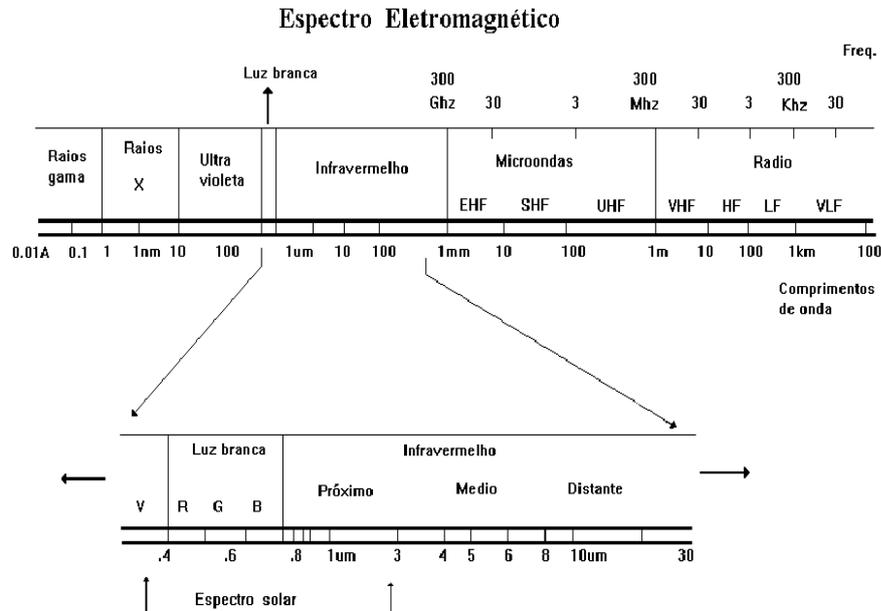
Dá para perceber que, de fato, chamado Espectroscópio desempenhou papel significativo no desenvolvimento da Ciência. Se considerarmos o quanto foi possível fazer a partir de todas essas descobertas, inclusive contribuindo no desenvolvimento da *Física Quântica*, veremos que a instrumentação científica é mesmo fundamental.

Glossário

- **Espectro** – Radiação eletromagnética dispersada em seus comprimentos de onda constituintes. Um espectro contínuo é aquele sem quebras, emitido por um sólido ou líquido quente ou um gás denso, por exemplo, as cores do arco-íris são causadas pela dispersão da luz branca que atravessa as gotículas de água existentes na atmosfera (o espectro contínuo da luz solar aparece ao olho humano como um arco-íris colorido). Um gás quente de baixa densidade emite apenas em determinados comprimentos de onda e o espaço resultante é formado por linhas de emissão brilhantes.
- **Espectroscopia** – A investigação e análise de substâncias ou sistemas físicos pela interação desses com radiação eletromagnética ou pela emissão desta radiação, e que utiliza um conjunto de técnicas e métodos que se baseiam na obtenção dos espectros de emissão ou absorção dessas radiações eletromagnéticas para diferentes frequências.
- **Espectroscópio** – Aparelho que produz e examina espectros para observação visual, esp. na região visível do espectro eletromagnético. Composto, p. ex., por dois sistemas ópticos com um prisma ou uma grade de difração entre ambos, o primeiro sistema óptico *colima* a radiação de uma fonte e o segundo permite a observação das raias, produzidas na refração ou difração pelo elemento interposto.
- **Espectro solar** – Termo usado para indicar o espectro que corresponde à decomposição da luz branca (solar) pela refração ou pela difração e é caracterizado pelas cores básicas.

- Espectro Eletromagnético

Intervalo completo da radiação eletromagnética, que contém desde as ondas de rádio, as microondas, o infravermelho, a luz visível, os raios ultravioleta, os raios X, até aos radiação gama.



- **Espectro visível** – A região de frequências do espectro eletromagnético que é capaz de sensibilizar a visão humana e que compreende a região em que os comprimentos de onda variam, continuamente, de 390 a 740 nanômetros (nm). Nesta faixa de comprimentos de onda se encontram as chamadas cores básicas.
- **Fóton** – Porção individual ou quantum de energia eletromagnética, que pode ser considerada com uma “partícula” de luz. Quanto mais curto o comprimento de onda de radiação (e maior a frequência), maior a energia do fóton.
- **Frequência** – Número de cristas de uma onda propagando-se que passa por um determinado ponto por segundo. No caso de radiação eletromagnética (por exemplo, a luz), a frequência é igual à velocidade da luz dividida pelo comprimento de onda.

- **Linhas espectrais** – Característica que aparece em um particular comprimento de onda do espectro. Uma **linha de emissão** é brilhante e corresponde à emissão de luz naquele comprimento de onda, enquanto uma **linha de absorção** é escura e corresponde à absorção de luz naquele comprimento de luz.
- **Linha de Fraunhofer** – Uma das 574 linhas de absorção identificadas no espectro do Sol pelo óptico e fabricante de instrumentos alemão do século XIX, Joseph von Fraunhofer(1787-1826).
- **Lépton** – Classe de partículas fundamentais, como os elétrons, isentos da força nuclear forte.
- **Neutrino** – Partícula fundamental de massa extremamente baixa, com carga elétrica zero e que, em geral, viaja a velocidades próximas à da luz.
- **Nêutron** – Partícula, formada por três quarks, co carga elétrica zero e uma massa ligeiramente superior à do próton. Os nêutrons são encontrados nos núcleos atômicos.
- **Pulsar** – Fonte regularmente pulsante de ondas de rádio (algumas vezes de luz e outras radiações). Acredita-se que os pulsares sejam estrelas de nêutrons em rotação.
- **Quark** – Partícula fundamental e principal constituinte dos núcleos atômicos.
- **Quasar** – Fonte de radiação muito compacta, mas extremamente energética com aparência quase-estelar e a mais luminosa classe de núcleos ativo de galáxias. Seu nome é uma abreviatura de “quase-stellar radio source” (radio-fonte quase-estelar).
- **Radiação** – Ondas ou partículas emitidas por uma fonte. A radiação eletromagnética é energia deslocando-se em forma de onda,incluindo raios ga-

ma, raios X, radiação ultravioleta, luz visível, radiação infravermelha, microondas e ondas de rádio. A radiação de partículas inclui partículas elementares, tais como os prótons e elétrons no vento solar.

- **Radiação eletromagnética** – Perturbações oscilantes de campos magnéticos e elétricos propagando-se na forma de ondas (ondas eletromagnéticas).
- **Radiação Infravermelha** – Radiação eletromagnética com comprimento de onda mais longo que a luz visível, porém mais curto do que microondas ou ondas de rádio.
- **Radiação síncrotron** – Radiação eletromagnética emitida quando partículas carregadas (em geral elétrons) giram a velocidades próximas à da luz em torno de linhas de campo magnético.
- **Radiação ultravioleta** – Radiação eletromagnética com comprimentos de onda mais curtos que os da luz visível, porém mais longos que os dos raios-X.
- **Raios gama** – Radiação eletromagnética com comprimentos de onda extremamente curtos (mais curtos do que os dos raios-X) e energia muito elevada.
- **Raios-X** – Radiação eletromagnética com comprimentos de onda mais curtos do que os de radiação ultravioleta, porém mais longos do que os dos raios gama.